

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 1 月 29 日 (29.01.2004)

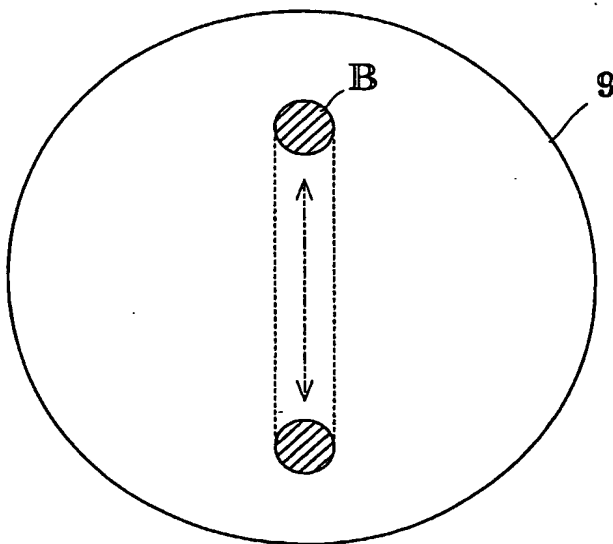
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/010744 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H05G 1/00 (71) 出願人 および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/009122 (72) 発明者: 浮田 昌昭 (UKITA, Masaaki) [JP/JP]; 〒604-8511 京都府 京都市中京区西ノ京桑原町 1 番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP).
(22) 国際出願日: 2003 年 7 月 17 日 (17.07.2003) (74) 代理人: 杉谷 勉 (SUGITANI, Tsutomu); 〒530-0047 大阪府 大阪市北区 西天満 1 丁目 10 番 8 号 西天満第 1 1 松屋ビル Osaka (JP).
(25) 国際出願の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): US.
(26) 国際公開の言語: 日本語 (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
(30) 優先権データ: 特願2002-210778 2002 年 7 月 19 日 (19.07.2002) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社島津製作所 (SHIMADZU CORPORATION) [JP/JP]; 〒604-8511 京都府 京都市中京区西ノ京桑原町 1 番地 Kyoto (JP).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: X-RAY GENERATING EQUIPMENT

(54) 発明の名称: X 線発生装置



(57) Abstract: X-ray generating equipment for generating X-ray by radiating electron beam on a target, comprising a vibration providing part for vibrating the target in the surface direction of the target, whereby, since an actually effective electron impact area on the target can be increased by moving the impact point of the electron beam on the target while maintaining the X-ray focal point position on the electron beam at a same position without varying the X-ray focal position, the concentric rise of the temperature of the target by the collision of electrons can be suppressed by dispersing generated heat, and thus the compact X-ray generating device with a long service life and a high operation rate can be provided.

(57) 要約: ターゲットに電子ビームを照射して X 線を発生させる X 線発生装置であって、前記装置は、前記ターゲットの面方向に前記ターゲットを振動させる振動付与部を備える。本発明により、X 線焦点位置を変動させることなく、電子ビーム上の X 線焦点位置を同じ位置に保ちつつ、電子ビームの衝突点をターゲット上で移動でき、ターゲットにおける実効的な電子衝突面積を大きくできるので、発生する熱を分散させて

電子衝突による集中的なターゲットの温度上昇を抑制できる。したがって、長寿命で稼働率が高いコンパクトな X 線発生装置を提供することができる。

明細書

X線発生装置

技術分野

この発明は、X線非破壊検査装置やX線分析装置のX線発生装置に係
5 り、特に微小な対象物のX線透視像を得るために微小径の電子ビームを
照射してミクロンサイズのX線源を有する装置に関する。

背景技術

従来、この種のX線発生装置としては、例えば、日本国 特開2002-
10 25484号公報、日本国 特開2001-273860号公報、日本国
特開2000-306533号公報に開示されているものが挙げられる。

これらの装置は、真空中で負の高電位 ($-S_v$ [V]) に保たれた電子源
から発生する電子 (S_a [A]) を、接地電位 0 V との電位差によって加速し
、電子レンズで直径 20 ~ 0.1 μ m 程度に収束させている。このようにし
15 て収束された電子ビームを、金属などの固体からなるターゲット（例えば、
タンガステン (W)、モリブデン (Mo)、銅 (Cu)）に衝突させること
でミクロンサイズのX線源を実現している。このときに発生するX線の最大
エネルギーは、 S_v [keV] となる。これらの装置のうち特に高分解能な
のは、透過型マイクロフォーカスX線発生装置と呼ばれており、たとえば膜
20 厚 5 μ m 程度のターゲットを、X線透過性のあるアルミニウム (Al) の保
持体（例えば、膜厚 0.5 mm）などの薄板上に成膜して、ターゲットで発
生したX線が、電子ビームの入射方向に窓を透過して大気中で利用できるよ
うにしたものである。このような保持体は、ターゲットが薄膜では強度的に
大気圧に対して耐えられないために用いられ、真空窓と呼ばれる。真空窓は
25 Oリングなどを介して真空容器に締め付けて固定されている。この固定する
部分は、電子レンズの先端中心部となっており、電子ビームが収束されて通

過する直径 10 mm 程度の真空経路が形成されている。

このような透過型マイクロフォーカス X 線発生装置では、ターゲットを電子レンズに密着して近づけられ、電子レンズの収差の影響を小さくできるので、電子収束径を最小にできる。したがって、最小の X 線焦点を得る事ができ、高分解能な X 線透視画像が得られる。また、被写体と X 線焦点を近づけられるので、高倍率の撮影が可能である。このような X 線管は、被検体の内部の微小な欠陥などを探す検査装置に用いられており、長い時は 1 被検体あたり数時間にも及ぶ検査作業が行われる。

しかしながら、このような構成を有する従来例の場合には、次のような問題がある。

すなわち、加速された電子（電力 $S_a \cdot S_v$ [W]）をターゲットに衝突させて X 線を発生させる場合、その電力の大部分は熱となり、X 線の発生効率は 1 % 以下である。衝突により発生する熱は、ターゲットの電子衝突部分の温度を上昇させるので、ターゲット材料の蒸発が起こり、さまざまな問題を引き起こす。

そこで、従来の透過型マイクロフォーカス X 線発生装置では、ターゲットの寿命が近づくと装置を停止させ、真空容器に締め付けられている真空窓を緩め、真空窓を回転させたり交換したりして、電子衝突部を新しいターゲット面に換えてえて運転を再開するようにしている。そのため、長期間にわたって連続して X 線を発生させることができなかつたり、X 線発生装置の稼働率を低下させたりするという問題の原因となっている。特に、大きな被検体では、X 線強度を大きくするために、負荷電力を大きくして動作させる。このような場合にはターゲットの寿命が短く、頻繁に X 線発生装置を停止させなければならないという問題がある。さらに、出力できる X 線強度には限界があり、マイクロフォーカス X 線管は暗いため作業効率を上げられないという問題もある。

ここで、電子ビーム電力とビーム径からターゲット寿命の試算方法について

て説明する。

半無限の大きさを持つ熱伝導度 K [$W/cm^{\circ}C$] の固体表面上にある直径 s [μm] の円内に、電子ビーム電力 ($S_v \cdot S_a$ [W]) の全てが衝突し熱源となるときの定常的な温度上昇 ΔT [$^{\circ}C$] は、以下のように表される (参考
5 : 石川順三 荷電粒子ビーム工学、コロナ社、2001年5月18日初版、p 145)。

$$\Delta T [^{\circ}C] = 2 \times 10^4 \cdot (S_v \cdot S_a) / (\pi K s) \quad \dots\dots (1)$$

この式 (1) より、温度上昇は、電力に比例し、衝突径 s に反比例すること
10 とがわかる。また、同じ温度上昇にするためには、衝突径 s あたりの電力を一定にすればよいことを示している。また、衝突径 s の時の衝突面積 $S = \pi (s/2)^2$ であるので、温度上昇 ΔT は衝突面積 S のルートに反比例するともいえる。例えば、同じ電力なら衝突面積を 4 倍にすれば温度上昇は $1/2$ になる。

15 ターゲットがタングステン (W) である場合、温度上昇 ΔT は、タングステンの融点 ($3410^{\circ}C$) のときの熱伝導度 $K = 0.9$ [$W/cm^{\circ}C$] を用いて試算できる。よって、室温とおなじ $27^{\circ}C$ のターゲットに、電子ビームを照射した時の電子衝突面の定常的な温度 $T = 300 + \Delta T$ [K] と試算できる。

20 次に、温度 T [K] の固体の蒸散量 d [$kg/m^2 sec$] は、以下の Langmuir の式 (2) によって試算される。

$$d = 4.37 \times 10^{-3} \cdot P \sqrt{(M/T)} \quad \dots\dots (2)$$

この式で、 M は固体材料の原子量で、タングステンの場合 $M = 183.8$ である。また、温度 T [K] の時の固体の蒸気圧を P [Pa] としている。

25 この P [Pa] は、定数 $A = 44000$ 、 $B = 8.76$ 、 $C = 5$ 、 $D = 0$ とし、次の (3) 式から試算される。

$$\log P = -A/T + B + C \log T - D T + 2.125 \quad \dots\dots (3)$$

3)

上記の蒸発量 d の単位を変換し、タングステン (W) の密度 $= 19.3$ [g/cm^3] で割ると、単位時間あたりの蒸発量 (厚み) [$\mu\text{m}/\text{時間}$] を試算することができる。さらに、微小な X 線焦点を考慮し、ターゲットが衝突径 s と同じ厚さ分蒸発するまでの時間が、ターゲット寿命であるとして、寿命を試算することもできる。

以下に、タングステン (W) 製ターゲットの寿命について各種電子ビーム負荷条件のもとに試算した結果 (第 1 図) と問題点を例示していく。

問題点 1

『ターゲット寿命により稼動時間ロスが発生する』

負荷条件 No. 1 は、マイクロフォーカス X 線管の通常の使用負荷の例である。X 線焦点サイズが $1 \mu\text{m}$ 程度となるように、ターゲット上の衝突径 $s = 1 \mu\text{m}$ に電力 0.32 W の電子ビームを衝突させた場合、衝突部の温度は 2576 K となり、寿命は 142 時間と試算できる。この場合、 142 時間ごとに装置を停止し、真空窓を緩めてターゲットを回転させて、新しいターゲット面に電子ビームを照射するようにしてから運転を再開することになる。真空窓を緩めるので真空が破れ、再度真空引きを行う必要があるため、 2 時間ほどは X 線を発生できず、稼働率を低下させる問題がある。この場合の稼働率は、連続稼働を想定して $142 / (142 + 2) = 99\%$ で、週に 1 度 2 時間の保守作業をする手間がかかる。負荷電力を下げれば寿命が延びるが、X 線強度が弱くなり透視撮影に時間がかかるので作業効率が低下する。

問題点 2

『X 線強度の上限があり、作業効率が上がらない』

負荷条件 No. 2 は No. 1 より X 線強度を少し高くした例で、電力を 0.32 W から 0.35 W に 9% 増加させた場合の試算である。同じ加速電圧で電流を 9% 増加させた例としており、X 線強度が 9% 増加し作業効率が 9% 増加する。しかし、衝突部の温度は 2790 K となり、寿命は 7 時間と試

算できる。したがって、わずか9% X線強度を向上させたために、7時間ごとに新しいターゲット面に交換する作業が必要となり、稼働率は $7 / (7 + 2) = 78\%$ まで低下してしまう。

5 負荷条件No. 3とNo. 4は、負荷条件No. 1にくらべX線強度を3倍ほど高くした場合の例である。試算では衝突部の温度が、タングステンの融点(約3680 K)、沸点(約6200 K)を超えており、ターゲット材料が急速に蒸発するため使用不可である。仮にX線強度が3倍に上がれば、同じX線量を発生するために必要な時間は、 $1 / 3$ ですむので、作業効率は3倍にできる。しかし、負荷条件No. 3及びNo. 4の試算のとおり、負荷電力には限界がありX線強度にも上限があるので、作業効率を上げることはできないという問題がある。

問題点3

『微小焦点化で暗くなる』

15 温度上昇 ΔT は(1)式のように、単位直径あたりの電子ビーム電力で決まる。したがって、電子ビームを絞って衝突径を小さくする場合には、電子ビームの電力も下げなければならない。例えば、より高分解能化した微小X線焦点となるように、衝突径 $s = 0.1 \mu m$ にする場合を考える。負荷条件No. 1と同じ蒸発レートであるためには、電力を $1 / 10$ にしなければいけないので、X線強度も $1 / 10$ になり作業効率が $1 / 10$ になる。その上、20 寿命は「微小なX線焦点を考慮して、ターゲットが衝突径 s と同じ厚さ分蒸発するまでの時間」としているので、寿命までの蒸発厚さは $1 / 10$ になり、寿命が $1 / 10$ の14.2時間になってしまう。稼働率は $14.2 / (14.2 + 2) = 88\%$ に低下する。

25 因みに、この程度の微小焦点化は、近年の半導体分野における集積回路の微細化に追随するために必要とされているだけに問題である。参考までに、衝突径 $s = 0.1 \mu m$ で負荷を大きくした場合の試算結果を第1図の負荷条件No. 5に示す。電力は負荷条件No. 1の75%となる電力0.24 W

とした。衝突部の温度は17371 Kとなり、ターゲットの蒸発のため使用不可である。

問題点4

『焦点形状の変化があるので、使用に注意が必要』

- 5 第1図の負荷条件No. 1のような条件で142時間連続してX線照射を行うと、ターゲットが1 μm 蒸発して薄くなる。その間、電子ビームの衝突する面の形状が変化しており、X線発生領域の形状も変化する。結果としてX線焦点の形状と位置が微妙に変化してゆく。そのため、高空間分解能を求められるマイクロフォーカスX線管では、寿命時間内であっても、電子ビーム
- 10 μm 焦点位置を微妙に調整する作業時間が必要で、稼働率を下げる問題がある。第1図の寿命は、ある目安となる時間であって、絶対的な寿命ではないことに注意されたい。

問題点5

『ターゲットは厚めで、ターゲットによるX線の不要な吸収がある』

- 15 寿命の間に同じようなX線強度であるためには、ターゲットの厚さは電子の最大進入深さとターゲット寿命相当厚さの和以上しておく必要がある。また、電圧変動による電力上昇などに耐えるためにも、ターゲット厚は厚めに成膜されているのが普通である。

- 例えば、管電圧40 kVのとき加速された40 keVのエネルギーをもった電子はタングステンターゲットに衝突し、40 keV以下のX線を発生させながら最大で2.6 μm 進入する。したがって、管電圧40 kVで衝突直径=1 μm ならターゲット厚さは3.6 μm 以上必要となり、余裕をみて5 μm 程度に設定される。
- 20

- ところが、X線発生領域の最大深さは2.6 μm であるから、ターゲット
- 25 厚さ5 μm のうちの残り2.4 μm で吸収されなかったものだけが透過X線として利用可能で、発生したX線の利用率が低下する。例えば、20 KeVのX線がタングステン2.4 μm を通過する場合80%しか透過しなので、

X線強度が低下して作業効率が80%に低下している問題がある。

問題点6

『回転陽極式のX線管では、装置を高分解能にできない』

- ターゲットの熱による問題を解決するために、医療用のmmサイズ焦点の
- 5 X線発生装置においては、ターゲットを回転させる回転陽極式が採用されている。マイクロフォーカスX線発生装置においても、ターゲットを回転させることが考えられる。しかし、回転のために使用するベアリング（玉軸受）では回転精度が不足しているので、ターゲットを精度良く回転させることができない。したがって、X線焦点のブレが生じるため、このような医療用の
- 10 方式を採用することはできない。特に、X線焦点サイズがミクロンオーダーであるマイクロフォーカスX線発生装置への応用は困難である。

前記についてさらに具体的に説明を行っておく。

- 医療用の回転陽極式X線管は、X線焦点サイズが0.2～1mm程度あり、真空容器・電子源・陽極円板・回転軸受・モータが一体構成されている。モータは電磁力を発生するので電子ビームに影響を与えるから、離さ
- 15 れなければならず、回転陽極式X線管は大型化する。さらに回転軸受としては内径6～10mmの玉軸受が採用され、外径10～30mm以上で厚さも2.5～10mm以上ある。この範囲の大きさの玉軸受の最高精度等級はJIS2級で規定されており、内輪のアキシャル振れ精度・ラジアル振れ
- 20 精度は最大1.5μmもある。そして、高真空・高温・高速という厳しい条件で使用されるため、特殊な潤滑方式が使われる。例えば、X線管内部の真空度は0.13mPa（ 10^{-6} Torr）以下が必要であるし、陽極の発熱により200～500℃の温度範囲で使用可能でなければなら
- 25 ないし、回転速度3000～10000rpm（50～167cyc/sec）程度的高速回転も要求される。このような厳しい条件を満足するために、軟質金属の薄い皮膜などを固体潤滑剤として用いた非常に特殊な軸受

が使われる。しかし、固体潤滑剤の寿命は短いため、回転陽極式のX線管の寿命は数百時間しかないという問題もある。

- マイクロフォーカスX線管は医療用ほどの負荷電力ではないので、管球がそれほど高温になる事はない。しかし、軸受鋼の線熱膨張係数は $12 \cdot 5 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ 程度あり、たった 20°C 温度が上昇するだけで $1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 内径が膨れて回転精度を悪くする。 20°C の程度の温度上昇は、室温変化や回転による摩擦で生じる熱などにより簡単に起こる。JIS 2級で規定されている回転精度とあわせると、 $3 \mu\text{m}$ 以下の回転精度は保証外であり、実現不可能である。さらに、回転陽極円板は最低でもベアリング外径より大きくなければならず、直径 10 mm 以上必要である。ターゲット面の「うねり精度」をミクロンオーダーにすることは、タングステンが硬く加工し難いため、X線焦点位置が $10 \mu\text{m}$ 程度変動することになる。X線焦点サイズが $0.2 \sim 1 \text{ mm}$ 程度である医療用の回転陽極式X線管ではこの程度の精度が問題になることはない。しかし、X線焦点サイズがミクロンオーダーであるマイクロフォーカスX線管では、焦点サイズが変化したり、焦点位置が電子ビーム方向にずれたりするので回転陽極式の応用は難しい。

- また、軸受は透過型X線の真空窓の厚さ 0.5 mm 程度にくらべ、5倍以上厚く、回転陽極式は大型化する。また、回転陽極にすれば、X線を取り出すための真空窓を必ず設けなければならない。つまり、回転陽極と被検体を近づけられず、ますます幾何学的な拡大倍率を大きくすることが難しくなる。たとえ高精度な玉軸受が開発されたとしても、高分解能なX線透視画像を得ることは難しい。

- 本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、ターゲットを振動させて、実効的な電子衝突面積を大きくすることにより、ターゲットの長寿命化を図り、装置の稼働率を高めたり、X線の連続発生時間を長くしたり、X

線強度を向上させたりできる高分解能でコンパクトなX線発生装置を提供することを目的とする。

発明の開示

本発明は、ターゲットに電子ビームを照射してX線を発生させるX線発生装置であって、

前記ターゲットの面方向に前記ターゲットを振動させる振動付与手段。

振動付与手段によってターゲットをターゲットの面方向に振動させる。これにより透過型・反射型を問わずX線焦点位置を変動させることなく、電子ビーム光軸上のX線焦点位置を同じ位置に保ちつつ、電子ビームの衝突点をターゲット上で移動させることができ、ターゲットにおける実効的な電子衝突面積を大きくすることができるので、発生する熱を分散させて電子衝突による集中的なターゲットの温度上昇を抑制することができる。したがって、ターゲットの蒸散を減少させることができる。その結果、ターゲットの長寿命化を図ることができ、ターゲットの交換・調整に起因する装置の稼働率を高めることができる。その上、X線強度を高くすることもできる。

なお、本発明における振動とは、ほぼ一定の周期をもって揺れ動くことをいい、ターゲットを単に回転駆動するだけでは得られない作用・効果を奏する。

すなわち、回転によるとターゲット上で同一軌道上を電子ビームが繰り返して移動することになる。一方、振動によると、同一軌道上だけでなく、例えば、ターゲット上の第1の領域内を電子ビームが同一軌道を描いて振動した所定時間後、第2の領域内に電子ビームが移動し、そこで同一軌道を描いて振動するようにできる。このような振動によると、電子ビームのターゲット上における軌道を異ならせることができ、より実効的な電子衝突面積を増大させることができる。したがって、一定軌道を描くことからターゲットの一部だけしか利用しない回転型に対して、振動によると、電子ビームの軌道をターゲット面において相違する種々のものに設定することにより、ターゲッ

トの全面にわたって有効に利用することが可能である。

逆にいえば、ターゲットの面積を小さくできるので、小形軽量のターゲットとなり、振動付与手段も小形化できる。したがって、X線焦点と被検体を近づけて、幾何学的な拡大倍率を大きくとった高分解能なX線透視撮影を行うことが可能である。

ここにいう振動は、その周期が数ヶ月、数週間、数日、数時間、数十Hz、数kHz、数MHz等の種々のものを含んでいる。

また、本発明において、前記振動付与手段は、ターゲットへの電子ビームの衝突点の軌道が直線状または円形状、さらにジグザグ状や正方形状の二次元形状となるように振動させることが好ましい。

ターゲット上における電子ビームの軌道は、円弧を描く円形状や、直線状などの一次元形状や、ジグザグ・矩形・四角形状などの二次元形状を描くように振動させることにより、実効的な電子衝突面積を増大させつつも振動の制御を比較的容易に行うことができる。特に二次元的な軌道では、ターゲットを特に小さくできて振動付与手段も小形化できる。

また、本発明において、管電圧、管電流、電子ビーム径、電子衝突部付近の測定温度のいずれかに応じて前記振動付与手段を制御する振動制御手段を備えていることが好ましい。

ターゲットの温度上昇は、管電圧及び管電流に比例し、電子ビーム衝突径に反比例するので、これらに応じてターゲットの保持体の振動を制御することによって好適な振動付与が可能となる。

本発明において、前記振動制御手段は、振動の振幅を電子ビーム径以上となるように制御し、かつ、振幅を可変できることが好ましい。

電子ビーム径以上の振幅で振動させれば、ターゲット上で常に電子ビームが照射される所がなくなり、温度上昇を均一にできる。より好ましくは、電子ビーム径の少なくとも2倍の振幅で制御する。さらに、電子ビーム電力が高いほど、また電子ビーム径が小さいほど振動の振幅を大きくすることによ

り、電子ビーム衝突面の温度上昇を低下させる。

本発明において、前記振動制御手段は、振動の周波数を可変とすることができるのが好ましい。

- 5 電子ビームの電力が高いほど、また電子ビームの焦点径が小さいほど振動の周波数を高くすることにより、電子ビームの全衝突面にわたって均一な温度分布とすることができ、ターゲットの局所的な温度上昇を抑制することができる。

本発明において、前記振動付与手段は、圧電素子を備えていることが好ましい。

- 10 圧電素子は、磁界を生じないので電子ビームに悪影響を与えることがない。また、高速動作が可能であってミクロンオーダの微小変位動作が可能であるので、振動付与手段に好適である。

本発明において、前記圧電素子とターゲットを被着した保持体とを一体的に構成して閉塞空間を形成するのが好ましい。

- 15 ターゲットの真空保持のために真空窓が不要となるので、構成が簡易化できる。さらに、真空窓が不要であるので、X線焦点と被写体との距離を最小にすることができ、幾何学的な拡大倍率を高くした高分解能な透視撮影ができる。

- 20 本発明において、前記保持体を当接支持するイタパネを備えることが好ましい。

ターゲットで発生した熱をイタパネから放熱させることができるので、ターゲット全体の温度上昇を抑制することができる。さらに、電子ビーム方向へのターゲットのブレを減少することができるので、X線焦点の移動を抑制しつつターゲットの面方向へ振動を与えることができる。

- 25 本発明において、前記イタパネは放電加工によって作成されていることが好ましい。

放電加工は寸法精度が高く、厚い金属板を厚さ方向に貫通加工できるので

、電子ビーム入射方向に対しアスペクト比の高いイタバネを一体的に作成できる。アスペクト比の高いイタバネは、元の金属板の厚さ方向のブレがなく、元の金属板の厚さ方向に対して高精度である。また、元の金属板の厚さ方向と電子ビーム方向が同じであれば、高精度の振動が可能である。

- 5 本発明において、前記ターゲットを真空封止するためにゴムまたはイタバネを備えていることが好ましい。

- 保持体には振動が付与されるので、固定の真空容器との間に振動を吸収できるゴムやイタバネを用いたり、それらを組み合わせて用いたりすることにより、ターゲットを真空封止することができる。したがって、真空窓を不要
- 10 にでき、X線焦点と被写体との距離を最小にすることができ、幾何学的に拡大倍率を高くした高分解能な透視撮影ができる。

本発明において、前記ターゲットの厚さは、管電圧により計算される電子のターゲットに対する進入距離の2倍以下であることが好ましい。

- ターゲットの長寿命化により厚いターゲットが不要となるので、最低限の
- 15 ターゲット厚さとすることができる。その厚さは、加速電圧とターゲット材料から計算されるターゲットへの電子進入深さ程度であるが、厚くても2倍以下が好ましい。このような厚さにすることにより、不要なX線吸収を最低限にすることができ、効率良くX線を利用することが可能である。特に、吸収されやすい軟X線を利用する場合に好適である。

- 20 本発明において、電子ビームによるターゲットへの負荷が低い場合には、前記振動制御手段は、ターゲットを変位させることが好ましい。

- 電子ビームによるターゲットへの負荷が低く、振動させなくても数時間～数日以上ターゲット寿命がある場合、振動制御手段はターゲットを電子ビーム衝突径の数倍以上の距離だけ変位（移動）させ静止させるようにする。
- 25 したがって、変位だけでターゲット上の電子ビーム衝突点を新しくできるので、固定式ターゲットに比べ非常に短時間で異なる位置に移動させることができ、稼働時間ロスがなくなる。その場合、各位置において振動を付与して

においてもよいし付与しなくてもよい。

本発明において、前記振動付与手段は、ターゲットが位置する開口内に配設されていることが好ましい。

- 5 ターゲットを電子レンズに最も近づけることができ、電子収束点の収差は電子レンズに近いほど小さいので、収差の少ない最小の電子収束径が得られ、X線焦点を最小とすることができる。さらに、小型なのでX線焦点と被写体とを近づけることができ、撮影倍率を高くできるので、高空間分解能なX線透視像が得られる。また、ミクロンオーダの高精度制御性・高速性があるので、この発明における振動付与手段に適している。

- 10 本発明において、前記イタパネは、ターゲットの振動方向に薄く、振動と垂直方向に厚い形状であることが好ましい。

振動方向には小さな力で駆動できるが、振動と垂直な方向には動かし難い。したがって、電子ビーム方向にブレない高精度なターゲットの振動を可能にする。

- 15 本発明において、前記ターゲットの厚さは、電子ビームの衝突径と同等であることが好ましい。

電子ビームの衝突径と同等のターゲット厚さにすることにより、X線焦点サイズを微小化することができる。

- 20 本発明において、前記ターゲットは、電子ビーム方向に対して傾斜姿勢で配設された反射型であることが好ましい。

反射型のX線発生装置であっても、透過型のX線発生装置と同様の熱的な効果を奏し、長寿命と高X線強度を実現できる。

図面の簡単な説明

- 25 第1図は、タングステン製ターゲットの寿命について各種電子ビーム負荷条件のもとに試算した結果を示す表であり、

第 2 図は、X 線発生装置の概略構成を示す縦断面図であり、

第 3 図は、X 線発生装置の概略構成を示すブロック図であり、

第 4 図は、ターゲット上における電子ビームの軌道を示す模式図であり、

5 第 5 図は、電子ビームの衝突面を拡大した模式図であり、

第 6 図は、ターゲット上における電子ビームの他の軌道を示す模式図であり、

第 7 図は、ターゲット上における電子ビームの他の軌道を示す模式図であり、

10 第 8 図は、ターゲット上における電子ビームの他の軌道を示す模式図であり、

第 9 図は、ターゲット上における電子ビームの他の軌道を示す模式図であり、

第 10 図は、振動付与部の構成を示す図であって、(a) は縦断面図
15 を示し、(b) は正面図であり、

第 11 図は、振動付与部の他の構成を示す図であって、(a) は縦断面図を示し、(b) は正面図であり、

第 12 図は、振動付与部の他の構成を示す図であって、(a) は縦断面図を示し、(b) は正面図であり、

20 第 13 図は、振動付与部の他の構成を示す図であって、(a) は縦断面図を示し、(b) は正面図であり、

第 14 図は、振動付与部の他の構成を示す図であって、(a) は縦断面図を示し、(b) は正面図であり、

第 15 図は、円筒型圧電素子の構成を示す図であって、(a) は外観
25 斜視図を示し、(b) は動作の一態様を示す縦断面図であり、

第 16 図は、振動付与部の他の構成を示す図であって、(a) は縦断

面図を示し、(b)は正面図であり、

第17図は、放電加工により製造したイタパネを用いた概略構成を示す正面図であり、

第18図は、イタパネを用いた概略構成を示す縦断面図であり、

5 第19図は、反射型のX線発生装置における概略構成を示す縦断面図である。

発明を実施するための最良の形態

従来の問題点を解決するための形態として、以下のものがある。

10 以下、図面を参照してこの発明の一実施例を説明する。

第2図～第5図は本発明の一実施例に係り、第2図は透過型X線管の概略構成を示す縦断面図であり、第3図はX線発生装置の概略構成を示すブロック図であり、第4図はターゲット上における電子ビームの振動を示す模式図であり、第5図は電子ビームの衝突面を拡大した模式図である。

15 透過型X線管1は真空容器3を備えており、電子ビームBを発生させるための電子銃2を内蔵している。真空容器3の電子銃2の反対側にはX線が発生する部分があり拡大して示してある。その先端部材5は電子レンズのホルピースである。中心部に直径10mm以下の開口7を有し、ターゲット9が被着された保持体11が開口7内に取り付けられている。ターゲット9は
20 タングステンやモリブデンなどの金属で構成されており、電子ビームが照射されるとX線が発生する。保持体11に近接して、真空窓13が取り付けられている。この真空窓13は先端部材5にネジ止めされた取り付け部材17によって押さえ込まれており、開口7周辺に埋設されたOリング15とともに真空封止の役割を果たしている。保持体11と真空窓13は、アルミ等の
25 X線を透過する材料で構成されている。真空窓13は、大気圧に対して真空を保持する強度が必要なため、板厚0.5mm程度にしている。

透過型 X 線管 1 は、電子銃 2 から放射された電子ビーム B が先端部材 5 の電子レンズホールピース付近で収束されてターゲット 9 に照射される。電子ビームが照射されたターゲット 9 からは X 線が発生し、保持体 11 及び真空窓 13 を透過して、照射 X 線 21 として放射される。電子レンズ光学系を用いるので、電子の収束位置をビーム軸上で変化させてターゲットへの電子衝突径を変化させられる。したがって X 線焦点サイズを変化させることも可能である。ターゲット面上に収束点がくるようにレンズを調整した時に、電子レンズの収差で決まる最小の X 線焦点となる。電子レンズの種類や構成にもよるが、SEM などの電子光学系を使えば電子収束径は nm オーダーも可能である。また、静電レンズで構成される電子銃のみで 5 ~ 100 μ m 程度の電子収束径が得られるので、特別な電子レンズのない構成も考えられる。さらに、被写体と使用目的により様々な構成が考えられる。

本実施例では、先端部材 5 における開口 7 の内周面に配設された振動付与部 23 によって、上記の保持体 11 を振動させることでターゲット 9 を振動させられるようになっている。この振動は、電子ビーム照射中に X 線焦点位置が変動しないように、ターゲット 9 の面方向に振動するようにようになっている。本実施例では、電子ビーム光軸とターゲット面は直交しているのので、ターゲット 9 は電子ビーム光軸に直交して振動する。しかし、本発明では、必ずしも直交する必要はない。

この発明における振動付与手段に相当する振動付与部 23 は、振動制御手段に相当する第 3 図の振動制御部 25 により、振動の振幅や周波数等が制御される。電子銃 2 に与えられる管電圧や管電流等は、高電圧発生器 27 によって制御される。これらの振動付与部 23 及び高電圧発生器 27 は、オペレータにより与えられた指示に基づく動作を行う制御部 29 によって統括的に制御される。

振動付与部 23 は、例えば、第 4 図に示すように、ターゲット 9 における電子ビーム B の衝突点が直線的に往復運動するように振動を付与する。なお

、このように直線的な軌道とする場合には、第5図に示すように、振動の振幅が少なくとも電子ビーム径 B_a 以上となるようにするのが好ましい。このように制御することにより、振動時における電子ビーム B の重複がなくなつて電子ビーム衝突面の温度上昇を均一に抑制するのに好適である。

- 5 次に、上述した従来例における問題点 1～4 がこの実施例により解決され改善されることをまず説明しておく。なお、実施例の詳細な振動付与手段のうち、特徴のある複数の具体例は後述する。これは、微小な振動はとても簡単に起こり、千差万別の実施例が考えられるため書ききれないのに、特定の
- 10 実施例で説明しては、誤解を与えると判断したからである。例えば、マイクロンオーダの振動は自然界に普通に存在し、モータの振動が伝播してたまたまターゲットが振動するといったことも経験したりする。特許でも、防振機構の特許の方が価値を認められる。また、回転機構では玉軸受が使われるというような特定の基本部品が、本発明のような微小な振動では考えられないためである。
- 15 第1図の負荷条件 No. 1～4 のように電子ビーム衝突径 s が $1\ \mu\text{m}$ の場合の改善度合いを試算していく。従来型の固定式ターゲットに対して電子ビーム B を衝突させているの時の衝突面積 S は、 $\pi (0.5)^2 = 0.79\ [\mu\text{m}^2]$ である。一方、本発明の振動の一例として、 $5\ \mu\text{m}$ の振動振幅でターゲット 9 を振動させた場合、電子ビームの衝突面積 S の合計は、 $(\pi (0.5)^2 + 1 \times 5) = 5.79\ [\mu\text{m}^2]$ となる。したがって、衝突面積 S は
- 20 $5.79 / 0.79 = 7.3$ 倍となり、円形に換算した直径 s は $2.7\ \mu\text{m}$ となる。よって、式 (1) により試算される温度上昇 ΔT は固定式ターゲットの $1/2.7$ となり、式 (2) (3) により試算されるタングステンの蒸発量が減少し、ターゲットの寿命が延びることが期待できる。寿命の試算結果を第1図中の「振動ターゲット」に示し、改善度合いについて以下に説明していく。

問題点 1 の改善：『超長寿命により稼動時間ロスがなくなる』

負荷条件No. 1は、マイクロフォーカスX線管の通常の使用負荷の例であった。この負荷条件No. 1の場合、固定式ターゲットの寿命142時間に比べ、本発明による寿命は 4.7×10^{27} 時間に改善され、無限の寿命とみなせる。また、装置の稼働率は100%に改善され、週に2時間の保守作業も不要になる。

問題点2の改善：『X線強度が上がり、作業効率が上がる』

負荷条件No. 2は負荷条件No. 1より少し高強度にした例で、電力を0.32Wから0.35Wに9%増加させた場合の試算である。この負荷条件No. 2の場合、固定式ターゲットの寿命7時間に比べ、本発明による寿命は 1.5×10^{21} 時間に改善され、無限の寿命とみなせる。装置の稼働率は78%から100%に改善され、7時間ごとに2時間の保守作業も不要になる。固定式ターゲットでの負荷条件No. 1にくらべ、X線強度増加9%による作業効率増加9%をそのまま享受できるので、9%増の検査作業ができるようになる。

負荷条件No. 3は、負荷条件No. 1にくらべ2.7倍ほど高強度にした場合の例である。固定式ターゲットでは蒸発するため使用不可であったが、本発明による寿命は189時間に大きく改善されている。固定式ターゲットの負荷条件No. 1の場合に比べ、寿命が $189 \text{時間} / 142 \text{時間} = 1.3$ 倍、X線強度が $0.86 \text{W} / 0.32 \text{W} = 2.7$ 倍に向上しており、作業効率が2.7倍向上する。

負荷条件No. 4は、負荷条件No. 1にくらべ3.1倍ほど高強度にした場合の例である。固定式ターゲットでは蒸発するため使用不可であったが、本発明による寿命は78分もある。固定式ターゲットの負荷条件No. 1の場合に比べ、作業効率が3.1倍向上する。

負荷条件No. 1～4の改善説明は、本発明の一例としてターゲットを $5 \mu\text{m}$ 振動させた場合であった。しかし、負荷条件No. 3, 4の改善では寿命が短いように感じられるかもしれない。そこで、本発明では簡単に振動振

幅を変更できることを利用し、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 振動させた場合の試算結果を第1図中に括弧で示し補足する。この場合、負荷条件No. 4であっても、衝突部温度 $=2217\text{ K}$ 、寿命 $=82381$ 時間と試算され、寿命が充分長くできることがわかる。つまり、本発明によれば、3倍以上のX線強度と長寿命は
5 簡単に実現することができ、作業効率も大幅に上げる事が可能になる。

問題点3の改善：『微小焦点化でも暗くならない』

第1図の負荷条件No. 5は、近年の半導体分野における集積回路の微細化に追随するために必要とされているX線焦点サイズの微小化へ、本発明を応用する場合の改善例である。第1図の負荷条件No. 1～4では、電子衝突径が $1\text{ }\mu\text{m}$ の場合の改善を説明しが、第1図の負荷条件No. 5では電子衝突径を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ とした場合の改善が示されている。従来の固定式ターゲットでは $1/10$ の負荷である 0.032 W に下げた低強度X線で検査を行うしかなかった。負荷条件No. 5のように 0.24 W と無理に負荷を上げると寿命がなかった。しかし、本発明により、 $5\text{ }\mu\text{m}$ の振幅の振動を付与すれば、寿命は 169 時間もあり使用可能に改善される。従来固定式ターゲットの負荷条件No. 1の寿命 142 時間に比べても 20% も長い。X線強度も負荷条件No. 1の 75% もある。
10
15

しかし、負荷条件No. 5の改善では強度が低下するように感じられるかもしれない。そこで、負荷条件No. 1と同じ強度（電力 0.32 W ）で $10\text{ }\mu\text{m}$ 振動させた場合の試算結果を第1図中に括弧で示し補足する。寿命 $=1341$ 時間と試算され、寿命が充分長くできることがわかる。つまり、本発明によれば、微小焦点化でも暗くならないことがわかる。したがって、作業効率を低下させずに、より詳細な検査が行えることになり、微細化している半導体検査に充分使えるようにできる。
20

25 問題点4の改善：『焦点形状の変化が極微小なので、使用が楽になる』

従来、高空間分解能を求められるマイクロフォーカスX線管では、寿命時間内であっても電子ビーム焦点位置を微妙に調整しないと一定の性能を得ら

れないことがあり、使用に注意しなければならない問題があった。しかし、問題点 1 の改善でも述べた第 1 図の負荷条件 No. 1 の寿命を比較すればこの問題が大幅に改善されていることがわかる。固定式ターゲットの寿命 142 時間に比べ、本発明による寿命は 4.7×10^{27} 時間に改善され、無限の
5 寿命とみなせる。つまり、10 万時間使用してもターゲットの蒸発厚は $2 \times 10^{-19} \mu\text{m}$ しかなく衝突径 $1 \mu\text{m}$ に対してまったく問題にならないので、無調整で性能が維持でき、使用が楽になる。

以上で述べたように、従来例における問題点 1～4 が、本発明の請求項 1 により解決され大幅に改善されることを第 1 図を中心に説明してきた。試算
10 では、振動による電子衝突面はすべて、第 4 図のような直線的な軌道であるとした。それ以外の電子ビーム B の他の軌道としては、第 6 図から第 9 図のようなものであってもよい（請求項 2）。

第 6 図は、側面から見て円形状・円弧状を呈するように振動させる例である。第 7 図は、第 6 図の構成とは円弧の方向を逆に構成したものであり、側
15 面から見て円形状を呈するように振動させる例である。

第 8 図は、ターゲット 9 の表面において、円弧軌道を描くように保持体 11 を振動させる例である。この場合、例えば、リング状の超音波モータによって保持体 11 を回転往復駆動して、二点鎖線矢印で示すように円弧状に振動を付与するように構成してもよい。また、超音波モータに代えて静電モータによって振動を付与するようにしてもよい。
20

第 9 図は二点鎖線矢印で示すように二次元方向に保持体 11 を振動させ、電子衝突部全体の大きさが $6 \mu\text{m}$ 角の例である。第 9 図中に点線で示すように、それぞれ異なる軌道を描くように、左右方向に振動させ、所定時間後に上下方向に異なる位置で左右振動を付与するようにしている。ここで、この
25 二次元振動の両方向の振動幅とも $6 \mu\text{m}$ とし、電子ビーム衝突径 $s = 1 \mu\text{m}$ であるとする、第 4 図などの直線軌道に比した面積は 6 倍になり、式 (1) よりターゲット面の温度上昇は $1/\sqrt{6}$ となり、ますます寿命を延ばすこと

ができ有利である。また、ターゲット面を無駄なく有効に使うことができるようになる。逆にいえば、最小のターゲット面積にできるので保持体 11 も最小限の重さですむ。そのため、振動させるためのエネルギーが最小にでき、振動付与部を最小化することができる顕著な効果がある。その他、ジグザグに振動させてもよい。

次に、上述した振動制御部 25 における制御例について説明する。

請求項 3 による振動制御部 25 は、被写体に応じて制御部 29 によって設定される電子ビーム B の衝突径 s [μm]、管電圧 S_v [V]、管電流 S_a [A] に応じて振動振幅 V_w [μm] や振動周波数 V_f [Hz] を最適に制御する。または、電子ビーム衝突点付近の温度を測定して、制御してもよい。

なお、通常の管電流 S_a としては設定値に比例する値を用いればよいが、ターゲット 9 に直接配備した電流測定器（図示省略）からの信号を S_a として制御するようにしてもよい。

制御としては、電子ビーム衝突点付近の測定温度が高いほど、衝突径 s が小さいほど、電力が大きいほど振動振幅や周波数を増加させるようにする。

請求項 4 の例として、「振動振幅」を制御する場合は以下の (5) 式に従うのが好ましい。

$$V_w = \alpha \cdot (S_v \cdot S_a) / s \quad \dots\dots (5)$$

係数 α は問題点 1 ~ 4 の改善で効果があった振幅 $5 \mu\text{m}$ の場合を例にすれば、係数 $\alpha = 5 \sim 15$ 程度が好ましい。しかし、係数 α はターゲット材料の熱伝導率 K や負荷や寿命などにより適時変更するのが望ましい。

しかしながら、例えば、係数 $\alpha = 5$ 、電力 1 W 、衝突径 $s = 5 \mu\text{m}$ のときは、振動振幅 $V_w = 1 \mu\text{m}$ となってしまう、電子ビーム B が常に衝突している部分ができってしまうことがある。そこで、これを回避するために、(4) 式の計算後に、次の条件判定式によって判定するのが好ましい。

「条件判定式」

振動振幅 $V_w < \text{衝突径 } s$ のときは、振動振幅 $V_w = \beta \cdot s$ とする。ここで、係数 $\beta > 1$ である。

請求項 5 の例として、「振動周波数」を制御する場合は、以下の (6) 式に従うのが好ましい。

- 5 短時間における熱負荷を考慮した場合、移動速度 ω [$\mu\text{m}/\text{sec}$] を考慮する必要がある。本発明の場合、振動による移動速度 $\omega = 2 \cdot V_w \cdot V_f$ [$\mu\text{m}/\text{sec}$] と見なして、振動周波数 V_f の制御は以下の式に従うのが好ましい。

$$V_f = \omega / (2 \cdot V_w) = \omega \cdot s / (2 \cdot \alpha \cdot S_v \cdot S_a) \quad \dots\dots (6)$$

10)

- 移動速度 ω としては、例えば、電子衝突部の移動速度が $2\text{m}/\text{sec}$ となるような回転数の場合に温度が 2500°C 以下となり長寿命であるという実験データがある。これを基準にすると、移動速度 $\omega = 2 \times 10^6 \mu\text{m}/\text{sec}$ とすれば十分であるが、ターゲット熱伝導率 K や負荷や寿命などにより適時変更するのが望ましい。振動の駆動電圧波形は、正弦波や三角波などが適用される。
- 15

- ここで、問題点 6 で述べた回転陽極式との大きな違いを補足しておく。回転陽極式と本発明の振動式の最もおおきな違いは、電子ビームの軌道の長さにある。回転陽極式ではベアリング等を使用するために、ベアリング外形以上の円板ターゲットが必要である。例えば、最小外形 10mm をもつベアリングの場合でもターゲット直径は 11mm ほど必要である。この場合、電子ビーム照射される軌道長さは 31.4mm 、材料がアルミ (密度 $= 2.7\text{g}/\text{cm}^3$) で厚さが 0.5mm とした重さは 0.47g もある。それに対し、本発明で例示した電子衝突径 $1\mu\text{m}$ 程度の場合、振動振幅は $10\mu\text{m}$ 程度
- 20
- 25 もあれば充分なので、保持板 11 の大きさも $1 \times 1\text{mm}$ 以下にできる。この大きさでの重さは、たった 0.0014g である。従って、小形軽量化でき、駆動力も小さくてすむ。ターゲット材料の無駄が少ない点も資源・環境問

題から望ましい。

ここからは上記の実施例のうち、振動付与部 2 3 の具体例を、第 1 0 図から第 1 9 図を順次参照しつつ詳細に説明していく。これらの具体例は、本発明の請求項 6 ~ 1 6 にあるような構成要素部品を含み、本発明においては特
5 有の効果を発揮する例であるが、本発明はこれら以外の機構によっても簡単に実現することができる。

請求項 6 にあるように、本発明には圧電素子が最適である。

圧電素子とは、圧電材料に電界を加えると材料の分極方向と電界方向に応じて伸縮することをアクチュエータとして利用したものである。圧電素子の
10 材料には、高分子（ポリビニリデンフロライドとトリフロロールエチレンの共重合体など）やセラミック（チタン酸ジルコン酸鉛 $[\text{Pb} (\text{Zr}, \text{Ti}) \text{O}_3]$ など）が主成分）がある。アクチュエータとしての特徴は、1. 微小変位の高精度制御性、2. 発生応力が大きい、3. 高速応答性良好、4. エネルギー変換効率が
15 大、5. 電磁干渉なし、などである。アクチュエータの用途が拡大する中で、特に微小変位の精密制御用として、半導体デバイス製造装置や STM
における精密位置決め、細胞操作のマイクロマニピュレータ、光学におけるミラーやレンズの位置・角度・焦点距離調節・工作機械の誤差補正などに多用されている。その他にも超音波の送受素子としても利用されている。変位量は数 nm ~ 数百 μm 、応答周波数は DC ~ 数 MHz まで各種のものがある。

20 アクチュエータとしての圧電素子は、面内変位を利用する直線変位型と面外変位を利用する屈曲変位型の二つに分類できる。

さらに、直線変位型は単板型と積層型がある。単板型は厚み方向に分極された圧電板で分極 P と平行に電界を印加して横方向に生じる伸縮変位を利用するものが多いが、「縦変形」、「横変形」、「すべり変形」の三種
25 類の圧電変形を起こさせることができる。積層型は圧電板を積み重ねて一体化したもので、隣り合った圧電板の分極 P の方向は互いに 180 度向きを

異にする。各圧電板は電氣的に並列駆動され、積層方向に変位を生じる。

また、屈曲変位型はモノモルフ (monomorph)、ユニモルフ (unimorph)、
バイモルフ (bimorph)、マルチモルフ (multimorph) が含まれる。このうちの
5 バイモルフは 2 枚の圧電板をシム (薄い金属板) の両側に貼り合わせたも
ので、各圧電板には互いに逆符号の歪みが生じるように電界を印加して屈
曲変形させる。構造が簡単で、大きな変位がえられるが、発生力は小さめ
である。

これらの圧電素子は電界で変位を生じるので、電磁モータ等とは異なって
ほとんど磁界を生じない。従って、電子ビームに悪影響を与えないように遮
10 へいすることは簡単で、電子ビームに近接した構成が可能である。

また、小形でも駆動力が大きく、保持板程度の重量は楽に振動させられる
ため、圧電素子を用いた振動付与機構は直径 10 mm 以下の開口 7 内に取り
付けることも容易である。請求項 13 のように、開口 7 内に振動付与機構を
設けた場合、ターゲットを電子レンズに最も近づけることができる。電子収
15 束点の収差は電子レンズに近いほど小さいので、収差の少ない最小の電子収
束径が得られる。したがって、X 線焦点も最小とすることができる。さらに
、小型なので X 線焦点と被写体とを近づけることができ、撮影倍率を高くで
きるので、高空間分解能な X 線透視像が得られる。また、ミクロンオーダの
高精度制御性・高速性があるので、この発明における振動付与手段に最も適
20 している。

以上のような圧電素子のうち、バイモルフを用いた振動付与部 23 の一具
体例について第 10 図を参照して説明する。第 10 図 (a) は縦断面図を示
し、第 10 図 (b) は正面図を示す。

第 10 図に示す振動付与部 23 は、取り付け部材 31 と圧電バイモルフ 3
25 3 を備えている。取り付け部材 31 は筒状で、先端部材 5 の開口 7 内周面に
取り付けられている。圧電バイモルフ 33 は板状で、取り付け部材 31 の上

下二カ所に立設されている。それらの先端部には、保持体 11 の上下端部が取り付けられており、平行四辺形を形成している。また、これら圧電バイモルフ 33 は同一面が同じ方向に向くように取り付けられており、それぞれに交流電圧が印加される。すると、図中に二点鎖線矢印で示すように、ターゲット 9 の面方向に振動が付与され、長寿命・高強度な X 線管を実現する。

しかし、平行四辺形を形成しているために、ビーム方向にターゲットが変位してしまう。例えば、圧電バイモルフ 33 の長さが 5 mm、振動振幅が $10\ \mu\text{m}$ である場合には、圧電バイモルフ 33 の長さは不変でほぼ直線状であるので、電子ビーム B の入射方向における最大移動量は $5 - \sqrt{5^2 - 0.01^2} = 10\ \text{nm}$ となる。けれども、ターゲット 9 がこの程度移動しても、通常の電子ビーム B 径が $1\ \mu\text{m}$ 程度の X 線焦点サイズであれば充分高精度な振動をさせることが可能であるといえる。

さらに微小な焦点サイズの一例として、 $0.1\ \mu\text{m}$ 程度の場合でも、振動振幅を $1\ \mu\text{m}$ とすれば電子ビーム B の入射方向における最大移動量は $5 - \sqrt{5^2 - 0.001^2} = 0.1\ \text{nm}$ となるので充分高精度な振動をさせることが可能である。それぞれの移動量／焦点サイズの比は、 $10\ \mu\text{m} / 1\ \mu\text{m} = 10$ 倍、 $1\ \mu\text{m} / 100\ \text{nm} = 10$ 倍となっており、ターゲット 9 における実効的な電子衝突面積を大きくすることができているので、発生する熱を分散させて電子衝突による集中的なターゲットの温度上昇を抑制することができる。

次に、バイモルフを用いた振動付与部 23 の別の具体例を第 11 図で説明する。第 11 図 (a) は縦断面図を示し、第 11 図 (b) は正面図を示す。電子ビームの軌道は第 6 図に模式図で示す。

この例では、電子ビーム B の軌道が第 6 図に示すように、側面から見て円弧状を呈するように振動を付与する。

振動付与部 23 は、上述した構成と同様に、取り付け部材 31 と圧電バイモルフ 33 を備えている。取り付け部材 31 は筒状で、先端部材 5 の開口 7

内周面に取り付けられている。板状の圧電バイモルフ 3 3 は、取り付け部材 3 1 の同一高さ位置に左右にそれぞれ一つずつ立設されている。それらの先端部には、縦断面が円弧状を呈する保持体 1 1 の高さ方向の中央部であって左右方向の端部が取り付けられている。また、これらは同一面が同じ方向に振動するように配設されており、個々に交流電圧が印加される。すると、図中に二点鎖線矢印で示すように、ターゲット 9 の円弧面方向に振動が付与され、円弧状の軌道を描くように振動する。付け加えるなら、保持体 1 1 の円弧中心は、圧電バイモルフ 3 3 の取り付け部材 3 1 への固定位置に一致するようになっている。さらに、保持体 1 1 の円弧半径は、圧電バイモルフ 3 3 の長さに等しく、円弧中心は電子ビーム光軸上にあるので、振動させてもビーム方向にターゲットは変位しない。

次に、振動付与部 2 3 の別の具体例について、第 1 2 図と第 1 3 図を参照しながら説明する。なお、第 1 2 図 (a) と第 1 3 図 (a) は縦断面図を示し、第 1 2 図 (b) と第 1 3 図 (b) は正面図を示す。

この例では、上述した圧電バイモルフ 3 3 に代えて、直線変位型の圧電素子 3 5 を採用している。

すなわち、振動付与部 2 3 は、取り付け部材 3 1 と圧電素子 3 5 を備えている。取り付け部材 3 1 は、筒状で、先端部材 5 の開口 7 内周に取り付けられている。角柱状に形成された圧電素子 3 5 は、取り付け部材 3 1 の内周側上下二カ所に埋設されている。それらの内側面には、板状の保持体 1 1 の上下端部が取り付けられている。二つの圧電素子 3 5 は、ターゲット面に平行で互いに同じ方向に微小変位動作するように埋設されている。圧電素子 3 5 を駆動すると、図中に二点鎖線矢印で示すように、ターゲット 9 の面方向に振動が付与される。圧電素子 3 5 は、横変形・すべり変形の素子の場合には符号 3 5 a で、縦変形の素子の場合には符号 3 5 b で取り付け部材 3 1 に埋設される。さらに、単板型・積層型のどちらの圧電素子を用いてもよい。

第 1 2 図の場合には、第 1 0 図の圧電バイモルフ 3 3 のように電子ビーム

Bの入射方向の変位を考慮する必要がなく、変位方向は圧電素子 3 5 の特性だけで決まっているので、より高精度な振動が可能である。

また、保持体 1 1 は軽量なので、第 1 3 図に示すように、片持ち式に構成しても充分高精度な振動が可能である。

- 5 すなわち、上記の構成において、取り付け部材 3 1 の上下二カ所に埋設していた圧電素子 3 5 を下方のみに設けている。これによると、構成を簡易化しつつも上記同様の効果を得ることができる。

次に、請求項 7 に関する振動付与部 2 3 の具体例を 2 つ、第 1 4 図と第 1 5 図を参照しながら説明する。なお、第 1 4 図と第 1 5 図は縦断面図を示し
10 、第 1 4 図 (b) と第 1 5 図 (b) は正面図を示す。

第 1 4 図では、1 mm 角程度で高さ数 mm 程度の直線変位型の圧電素子 3 5 を複数個集積したものを利用し、外形が正方形で中空部を有するように取り付け部材 3 1 に対して立設してある。そして、中空部を閉塞するように保持体 1 1 が取り付けられている。各圧電素子 3 5 は、それぞれ「すべり変形」
15 」で動作するようにされ、かつ、第 1 4 図 (a) において、ターゲット 9 の面方向 (図の上下方向) に振動するように設定されている。

この構成によると、圧電素子 3 5 と保持体 1 1 とを一体的に構成して、閉塞空間を形成することができる。したがって、第 2 図のような真空窓 1 3 が不要となり、構成を簡易化できるとともに、X 線焦点と被写体とを近づける
20 ことができ撮影倍率を高くできるので、装置性能を高分解能にできる。

なお、上記の構成においては、複数個の圧電素子 3 5 を用いたが、第 1 5 図に示すような特殊な円筒形の圧電素子 3 7 を採用してもよい。

この圧電素子 3 7 は、強誘電体材料を焼結成型して製造され、外径 5 mm 程度で長さ 5 ~ 20 mm 程度の円筒形を呈し、三次元動作が可能となっている。
25 このような圧電素子 3 7 を利用した応用例として、走査プローブ顕微鏡の三次元スキャナがある。圧電素子 3 7 は、内周面に接地電極を備え、外周面に 5 分割された電極 X 1, X 2, Y 1, Y 2, Z を備えている。電極 X 1

、X 2 は、筒軸に直交する方向に設定されたX軸に沿って対向して設けられ、電極Y 1、Y 2 はY軸に沿って対向して設けられている。電極Z は、筒軸に沿って設定されたZ軸周りに、上部外周面に環状に設けられている。

この圧電素子3 7は、接地電極に対して外周面に設けられた電極に正電圧を印加すると伸長し、負電圧を印可すると収縮するように動作する。したがって、圧電素子3 7を上述した取り付け部材3 1に取り付けるが、電極X 1、X 2、Y 1、Y 2側を取り付け部材3 1側にした場合、対向配置されている電極X 1、X 2に逆極性の電圧を加えると、第15図(b)に示すように動作する。つまり、電極X 1部分が伸長し、電極X 2部分が収縮して、全体が湾曲変形して電極Z側がX方向に変位することになる。

先端側における変位量は、筒の長さや印可電圧によって決まる。印可する走査信号は、例えば、1 nmから数10 μ mまでの走査を数Vから200 V程度の電圧によって実現している。

この圧電素子3 7の先端部分に、ターゲット9を有する保持体1 1を接着することにより、上述した第14図の構成と同様の効果を得ることができる。その上、Z方向への変位も可能であるので、電子レンズと連動させてX線焦点の位置を変位させることができ、被写体を動かすことなく撮影倍率を微調節することができるという利点も有する。なお、Z方向への変位は、電極Zに電圧を印可することにより行うが、10 nm/V程度の極めて微小な伸縮動作を行うこともできる。

請求項8にあるように、本発明の振動付与部にはイタバネ(Flexure)を構成部品として用いるのが最適である。本発明のような1 mm以下の微小変位を行う場合、塑性変形するイタバネは、すべり動作・静摩擦・動摩擦・バッククラッシュがなく過酷な使用環境に耐える。鋼玉を使う軸受類のように潤滑材(グリース)の必要もないので、高真空・高温・高速な本発明に最適である。しかも、小形で高精度である点も有利である。

イタバネを用いた具体例として第16図から第18図を参照しつつ順次説

明していく。なお、第 16 図 (a) は縦断面図を示し、第 16 図 (b) は正面図を示し、第 17 図は正面図を示し、第 18 図は縦断面図を示す。

第 16 図は、第 12 図の構成に、保持体 11 を当接支持するイタバネ 39 を取り付け部材 31 に取り付けられた構成になっている。保持体 11 とイタバネ 39 との接合は、熱伝導率の高い接着や溶接が好適である。

また、イタバネ 39 の材料としては、熱伝導率の高さからセラミックや金属が好ましく、さらに耐久性の面からバネの材料であるリン青銅やベリリウム銅が好ましい。さらに、加工精度の面から、イタバネ 39 は金属厚板から放電加工によって掘り出すのが好ましい (請求項 9)。

このイタバネ 39 は、ターゲット 9 の熱を、保持板 11 を通じて逃がすとともに、駆動素子 36 によって付与された振動により、電子ビーム B 方向にターゲット 9 のブレを抑制する。したがって、振動に伴う X 線焦点の移動を抑制することができる。

なお、イタバネ 39 を、第 10 図～第 15 図に述べた圧電素子を用いた構成に採用してもよいことは言うまでもない。

第 17 図は、第 16 図の構成と概略同じである。相違点は、イタバネ 39 と取り付け部材 31 に代えて、取り付け部材 50 と一体で形成されたイタバネ部 51 が採用されていることである。ターゲット 9 の保持体 11 は、熱伝導性の接着剤や溶接により接続することもできるが、保持体も含めた一体成型した例が示してある。

請求項 14 にあるように、イタバネ部 51 は、ターゲット 9 の振動方向に薄く、振動と垂直方向に厚い形状となっており、アスペクト比が高い構造で、放電加工などを用いて形成される。第 17 図のような「コ」の字構造の他にも、単板状、放射状などの様々な形状が考えられる。このようなアスペクト比が高いイタバネは、振動方向には小さな力で駆動できるが、振動と垂直な方向には動かし難い。したがって、電子ビーム方向にブレない高精度なターゲット 9 の振動を可能にする。数ミクロン以下のサブミクロンの X 線焦点

をもつX線管の振動付与機構の一部として用いるのに好適である。また、一体形成できるので、組立精度の点からも望ましい。

第18図は、イタバネを用いた振動付与部23の他の構成を示す縦断面図である。

- 5 保持体11Aは、真空窓(13)を兼用するとともに、その周辺部にイタバネ39aが形成されている。また、駆動素子36は、接続板41を介して保持体11Aに接続されている。保持体11Aは、例えば、円筒状の金属ブロックから放電加工によって掘り出して形成する。なお、接続板41を含めて形成することも可能である。
- 10 ターゲット9には保持体11を介して振動が付与されるので、振動を吸収できるイタバネ39aによりターゲット9を真空封止することができる。したがって、第2図の真空窓(13)を不要にでき、X線焦点と被写体との距離を最小にすることができ、幾何学的に拡大倍率を高くすることができる。また、イタバネ39aの部分をゴムやペローズなどの弾性体で構成したりし
- 15 てもよい(請求項10)。

次に請求項11の説明を行う。

問題点5の改善：『ターゲット厚さを薄くすることで、ターゲットによるX線の不要な吸収をなくす』

- 従来は、問題点5で述べたように、ターゲットが厚めにしてあるので、ターゲットにおけるX線の不要な吸収が生じていた。しかし、この発明においては、ターゲットを長寿命化することができるので、ターゲット厚を薄くして、X線量を上げることができる。
- 20

- 例えば、管電圧40kVのとき加速された40keVのエネルギーをもった電子はタングステンターゲットに衝突して、X線が発生させながら最大で
- 25 2.6 μ m進入する。本発明では、ターゲットを長寿命にできるので、この電子最大進入深さ2.6 μ mと同じターゲット厚さとしてもよく、従来余分に付加されていた2.4 μ mのタングステンによるX線吸収20%をなくす

ことができる。従って、従来の $5\ \mu\text{m}$ ターゲットに比べ、1.2 倍の作業効率にできる。特に、吸収の割合が大きな低エネルギーにおける効果が大い

ここで、密度 $\rho\ [\text{g}/\text{cm}^3]$ のターゲットに、 $E\ [\text{kV}]$ で加速された
5 電子が衝突する時、電子の最大進入深さ $R\ [\mu\text{m}]$ は、次の (4) 式でほぼ計算できる。

$$R = 0.0021 (E^2 / \rho) \dots\dots (4)$$

したがって、加速電圧 $E\ [\text{kV}]$ のとき、X 線発生が最大となるターゲット厚さは最大進入深さ R となる。したがって、上記 (4) 式で表されるター
10 ゲット厚さを採用すればよい。

なお、必ずしも上記 (4) 式で表される厚さに限定されるものではないが、おおむね計算される最大進入深さ R の 2 倍以下の厚さであればこの発明の効果が期待できる。特に、吸収されやすい軟 X 線を発生させる場合に好適である。

15 また、ミクロンオーダ以下の衝突径 $s\ [\mu\text{m}]$ の場合には、衝突径 s とほぼ同じターゲット厚さ $t (= s)\ [\mu\text{m}]$ とすることは、X 線焦点サイズを微小化する点においてより好ましい (請求項 15)。

次に請求項 12 の説明を行う。

電子ビームが低出力の場合には、上述した振動制御部 25 が次のようにターゲットを変位するようにしてもよい。
20

すなわち、電子ビームの出力が低い場合には、例えば、数ヶ月や数週間のオーダでターゲット 9 を変位させて電子の衝突点の位置を換える。その場合、各位置において振動を付与しておいてもよいし付与しなくてもよいが、変位により、ターゲット 9 の異なる衝突点に電子ビーム B の衝突点を短時間で
25 移動させることができる。そのため、固定式の場合に行っていた真空引きの時間が不要になるので、短時間でターゲットの交換ができ、作業効率が悪くならないようにできる。

なお、この発明は上述した実施例に限定されるものではなく、以下のように変形実施が可能である。

(1) 振動付与部 23 の駆動源としては、上述したもののほかに、電歪素子、静電アクチュエータ、磁気歪素子等を採用することができる。また、電磁
5 モータやソレノイドなどを電子ビームから遠く離して構成したり、磁気シールドを入れたりして、ターゲットを振動させるようにしてもよい。この場合も、小形で高分解能にはできないが、長寿命化する効果が大きい。

(2) 振動付与部 23 のイタバネに代えて、線状バネ、金属金網、すべり軸受、セラミック製玉軸受、弾性金属体などを用いてもよい。

10 (3) 上述した例は、全て透過型の X 線発生装置 1 であるが、この発明は反射型の X 線発生装置にも適用することができる。第 19 図は、反射型の X 線発生装置 1A におけるターゲット周辺の概略構成を示す縦断面図である。

本発明の反射型の X 線発生装置 1A は、電子ビーム B 方向に対して、ターゲット 9 を有する保持体 11 を傾斜姿勢で位置させるための支持台 43 を備
15 え、その先端中央部に連結棒 45 が、例えば圧電素子 35 を介して取り付けられている。連結棒 45 の先端部には保持体 11 が取り付けられ、保持体 11 の側面と支持台 43 の側面を連結するように柔軟性を備えた接続板 47 が配設されている。

圧電素子 35 を駆動すると、ターゲット 9 の面方向に振動が付与される。
20 したがって、このような反射型の X 線発生装置 1A であっても、上述した透過型の X 線発生装置 1 と同様の熱的な効果を奏し、長寿命と高 X 線強度を実現できる（請求項 16）。

産業上の利用可能性

以上のように、本発明は、ターゲットの長寿命化を図り、装置の稼働
25 率を高めたり、X 線の連続発生時間を長くしたり、X 線強度を向上させたりできる高分解能でコンパクトな X 線発生装置に適している。

請求の範囲

1. ターゲットに電子ビームを照射してX線を発生させるX線発生装置であ
5 って、
前記ターゲットの面方向に前記ターゲットを振動させる振動付与手段を備
えていることを特徴とするX線発生装置。
2. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記振動付与手段は、ターゲ
ット上の電子ビームの衝突点の軌道が直線状または円形状、さらにジグザグ
10 状や正方形の二次元形状となるように振動させることを特徴とするX線発
生装置。
3. 請求項1に記載のX線発生装置において、管電圧、管電流、電子ビーム
径、電子衝突部付近の測定温度のいずれかに応じて前記振動付与手段を制御
する振動制御手段を備えていることを特徴とするX線発生装置。
- 15 4. 請求項3に記載のX線発生装置において、前記振動制御手段は、電子ビ
ーム径以上の振幅で振動を制御し、かつその振幅を可変とすることができる
ことを特徴とするX線発生装置。
5. 請求項3に記載のX線発生装置において、前記振動制御手段は、振動の
周波数を可変とすることができることを特徴とするX線発生装置。
- 20 6. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記振動付与手段は、圧電
素子を備えていることを特徴とするX線発生装置。
7. 請求項6に記載のX線発生装置において、前記圧電素子とターゲット
を被着した保持体とを一体的に構成して閉塞空間を形成することを特徴とす
るX線発生装置。
- 25 8. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記保持体を当接支持する
イタバネを備えることを特徴とするX線発生装置。
9. 請求項8に記載のX線発生装置において、前記イタバネは放電加工に

よって作成されていることを特徴とするX線発生装置。

10. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記ターゲットを真空封止するためにゴムまたはイタバネを備えていることを特徴とするX線発生装置。

5 11. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記ターゲットの厚さは、管電圧により計算される電子のターゲットに対する進入距離の2倍以下であることを特徴とするX線発生装置。

12. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記振動制御手段は、ターゲットを変位させることを特徴とするX線発生装置。

10 13. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記振動付与手段は、ターゲットが位置する開口内に配設されていることを特徴とするX線発生装置。

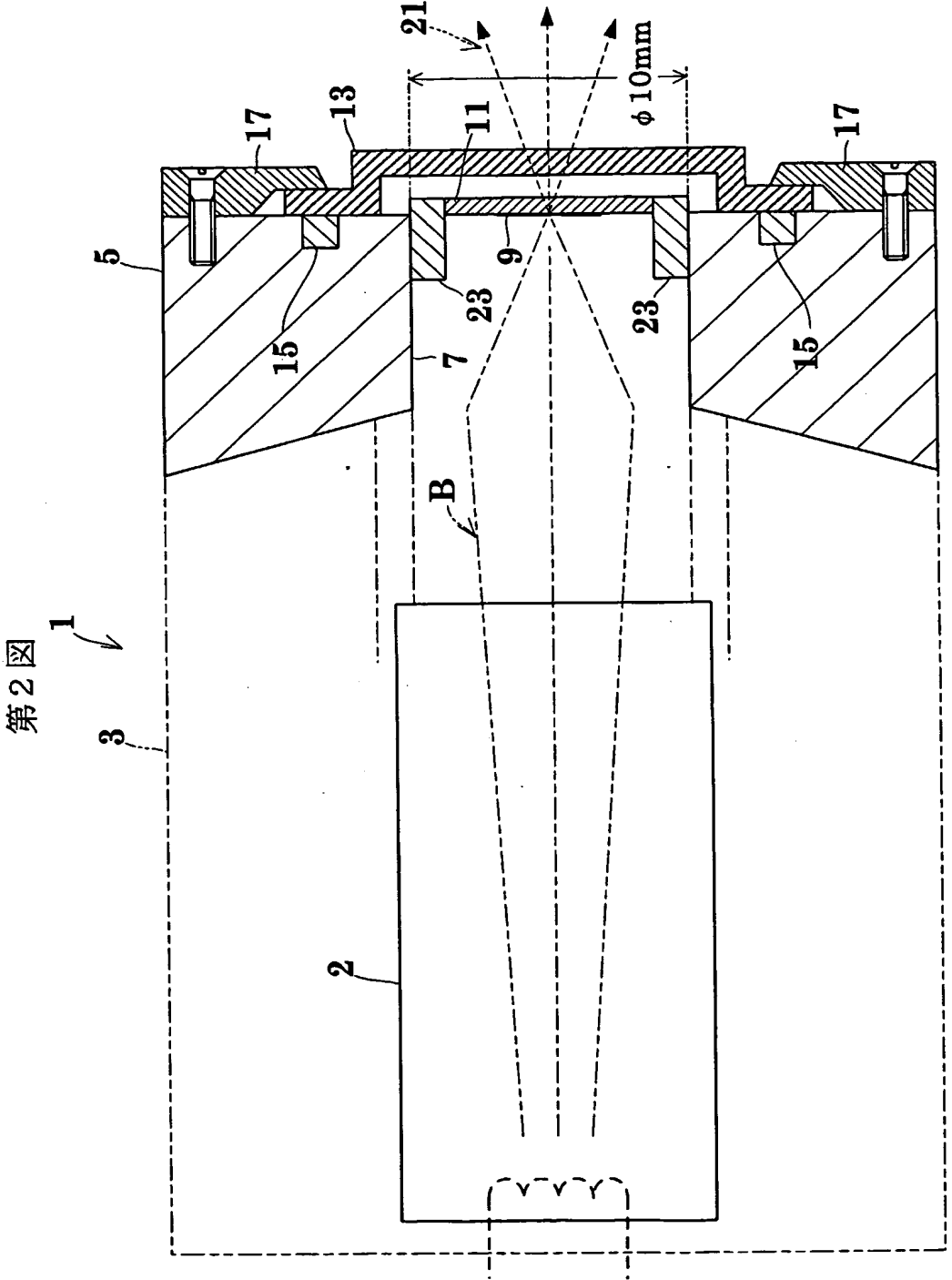
14. 請求項8に記載のX線発生装置において、前記イタバネは、ターゲットの振動方向に薄く、振動と垂直方向に厚い形状であることを特徴とするX線発生装置。

15 15. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記ターゲットの厚さは、電子ビームの衝突径と同等であることを特徴とするX線発生装置。

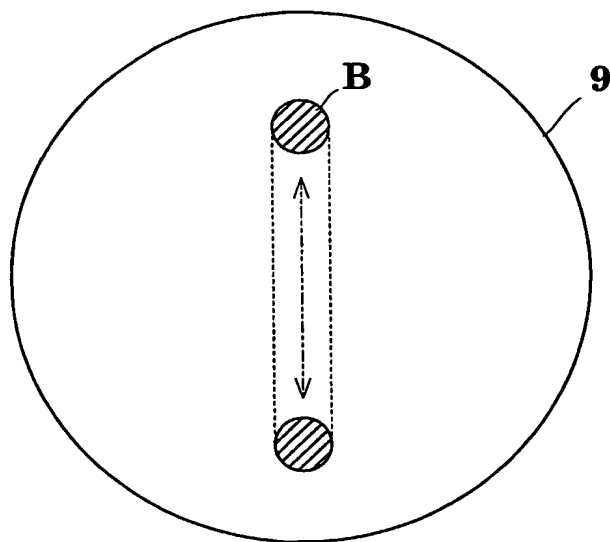
16. 請求項1に記載のX線発生装置において、前記ターゲットは、電子ビーム方向に対して傾斜姿勢で配設された反射型であることを特徴とするX線発生装置。

第1図

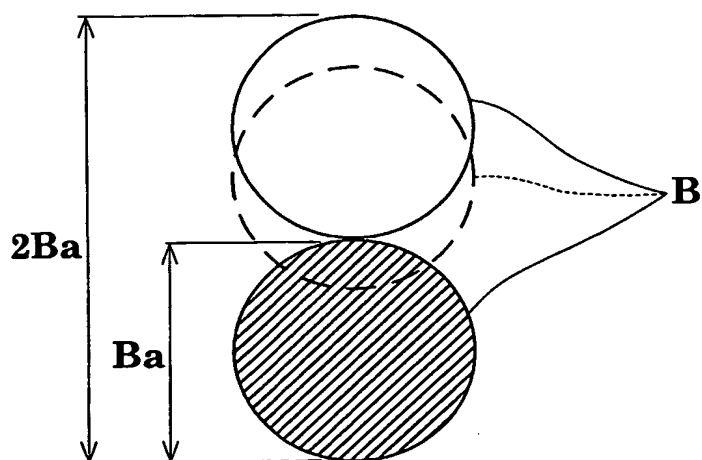
	電子ビーム		従来の 固定式ターゲット			本発明の 振動ターゲット (5 μm 振動)		
負荷 条件	衝突 径	電力	衝突 面積	温度	寿命	衝突 面積	温度	寿命
No.	s [μm]	[W]	S [μm^2]	T [K]	[時間]	S [μm^2]	T [K]	[時間]
①	1	0.32W	0.79	2,576	142	5.79	1,140	4.7E+27
②	1	0.35W	0.79	2,790	7	5.79	1,219	1.5E+21
③	1	0.86W	0.79	6,417	(蒸発)	5.79	2,557	189
④	1	1.0W	0.79	7,413	(蒸発)	5.79	2,925	1.3
						(10.79)	(2,217)	(82,381)
⑤	0.1	0.24W	0.0079	17,371	(蒸発)	0.08	2,423	169
		(0.32W)				(1.01)	(2,309)	(1,341)



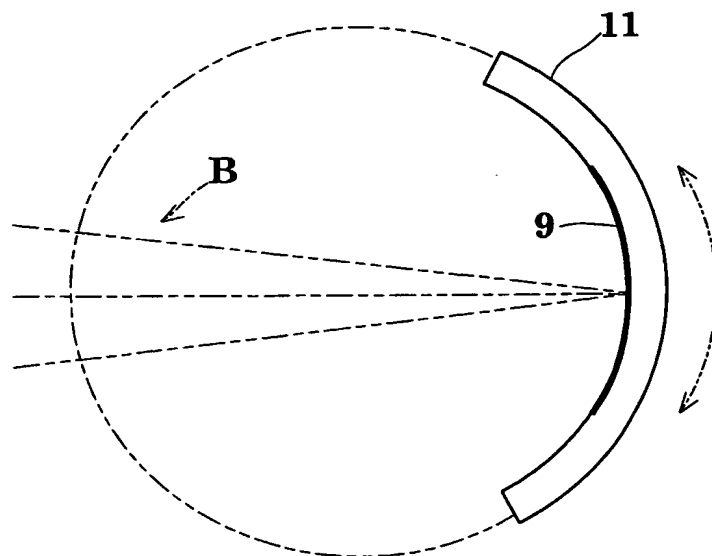
第4図



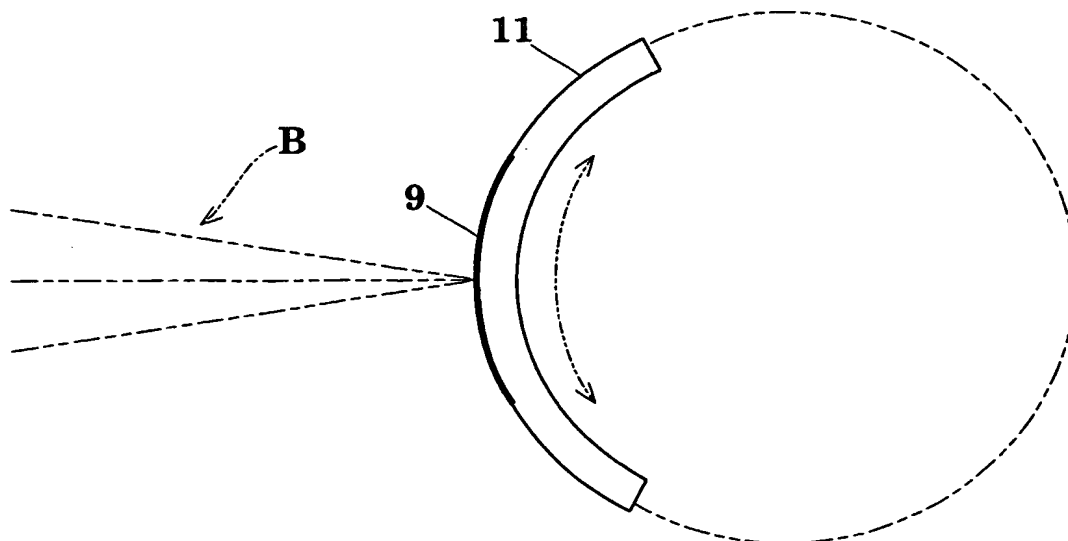
第5図



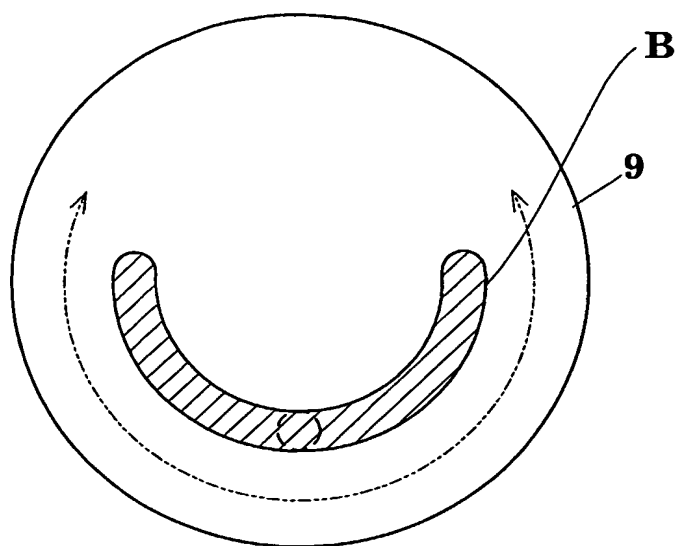
第6図



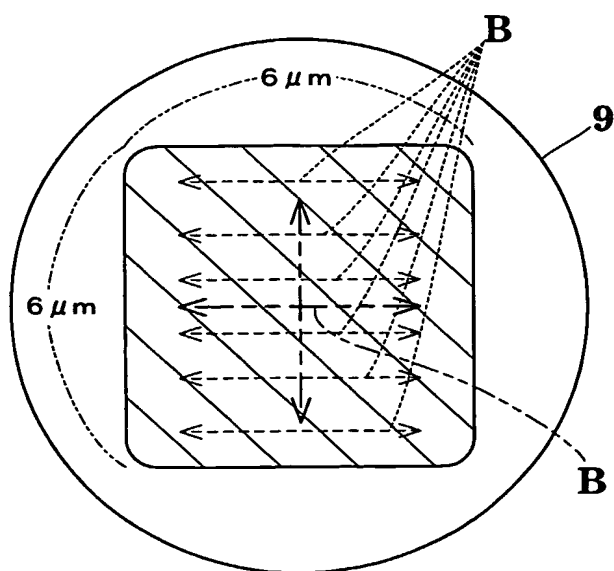
第7図

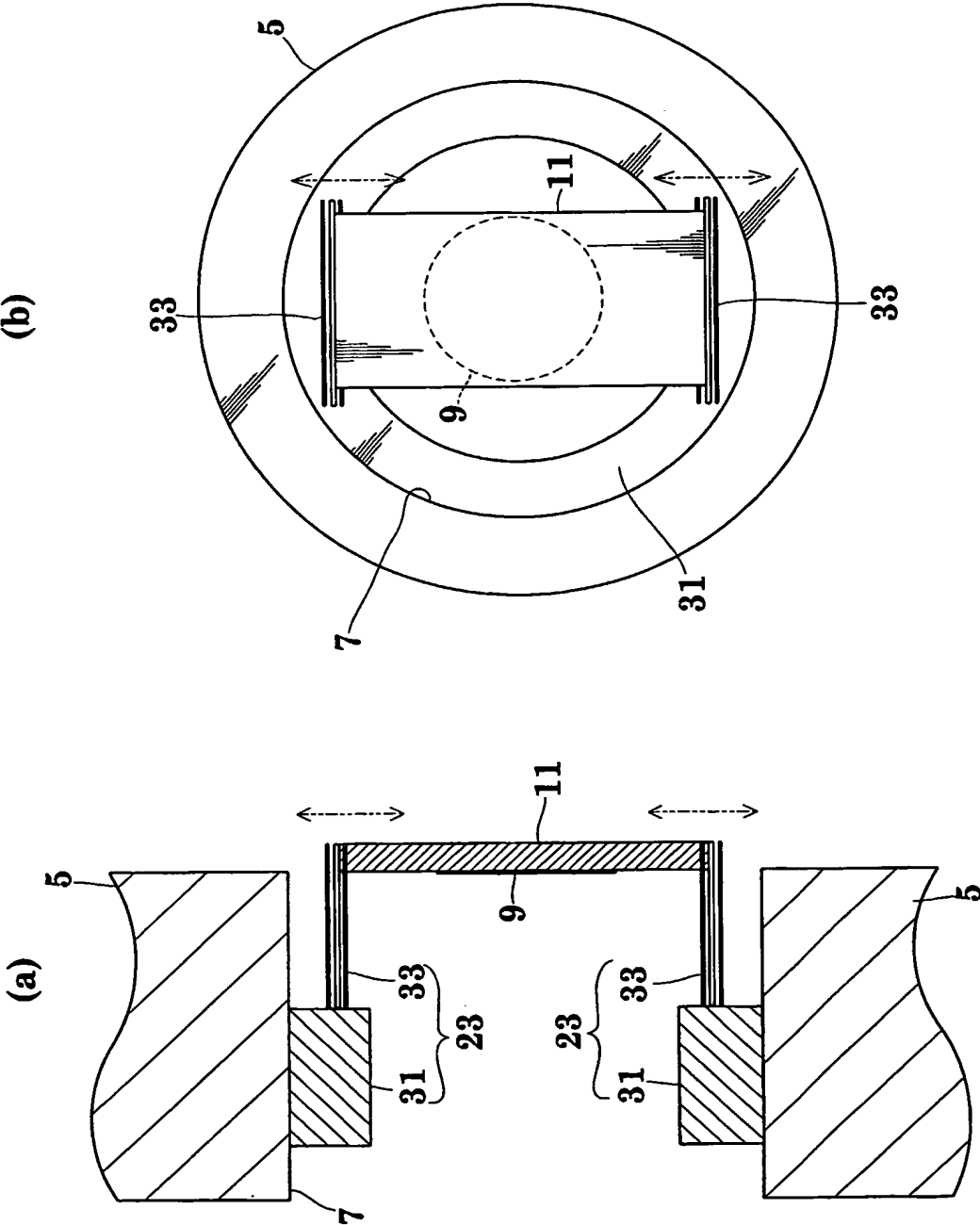


第8図



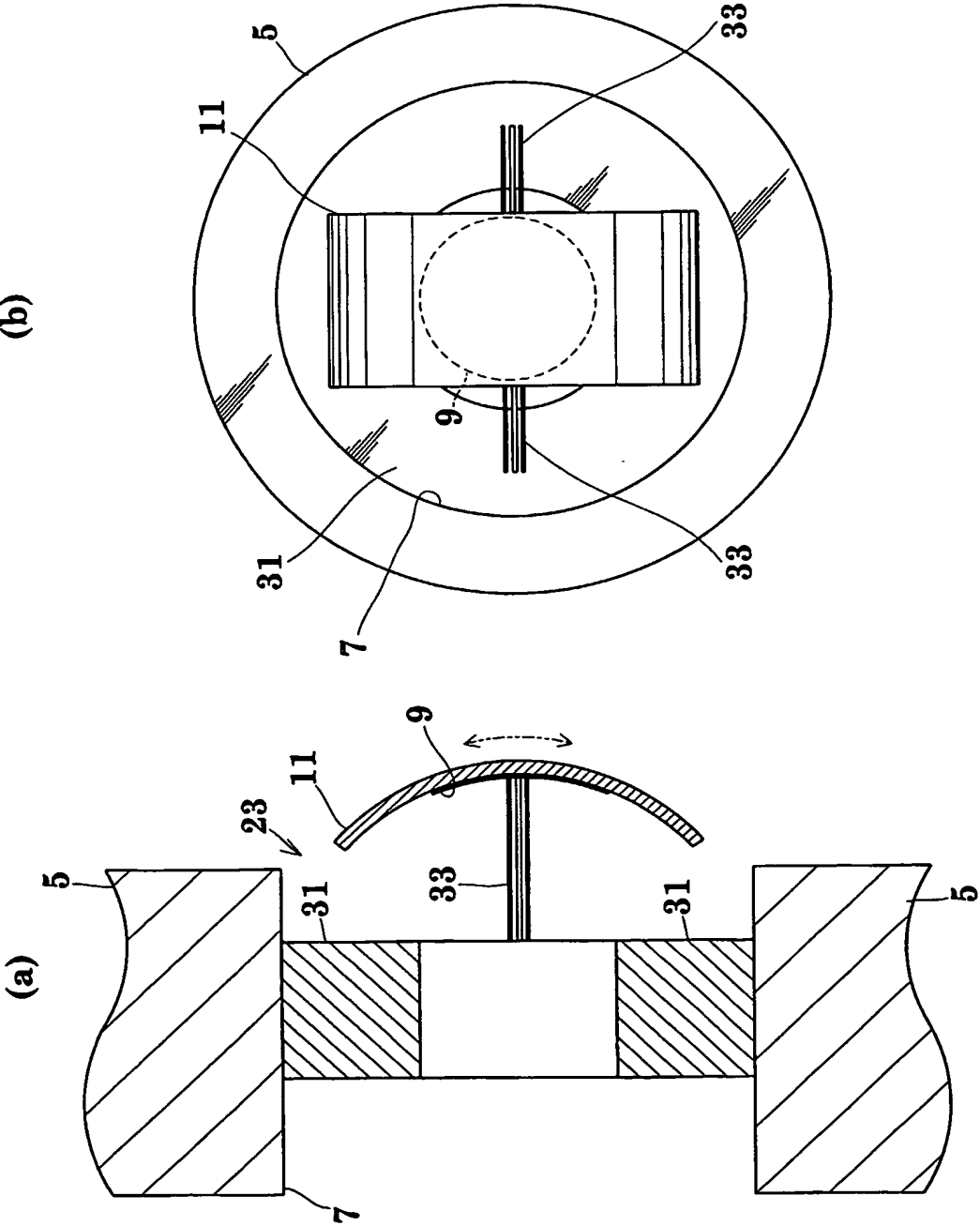
第9図

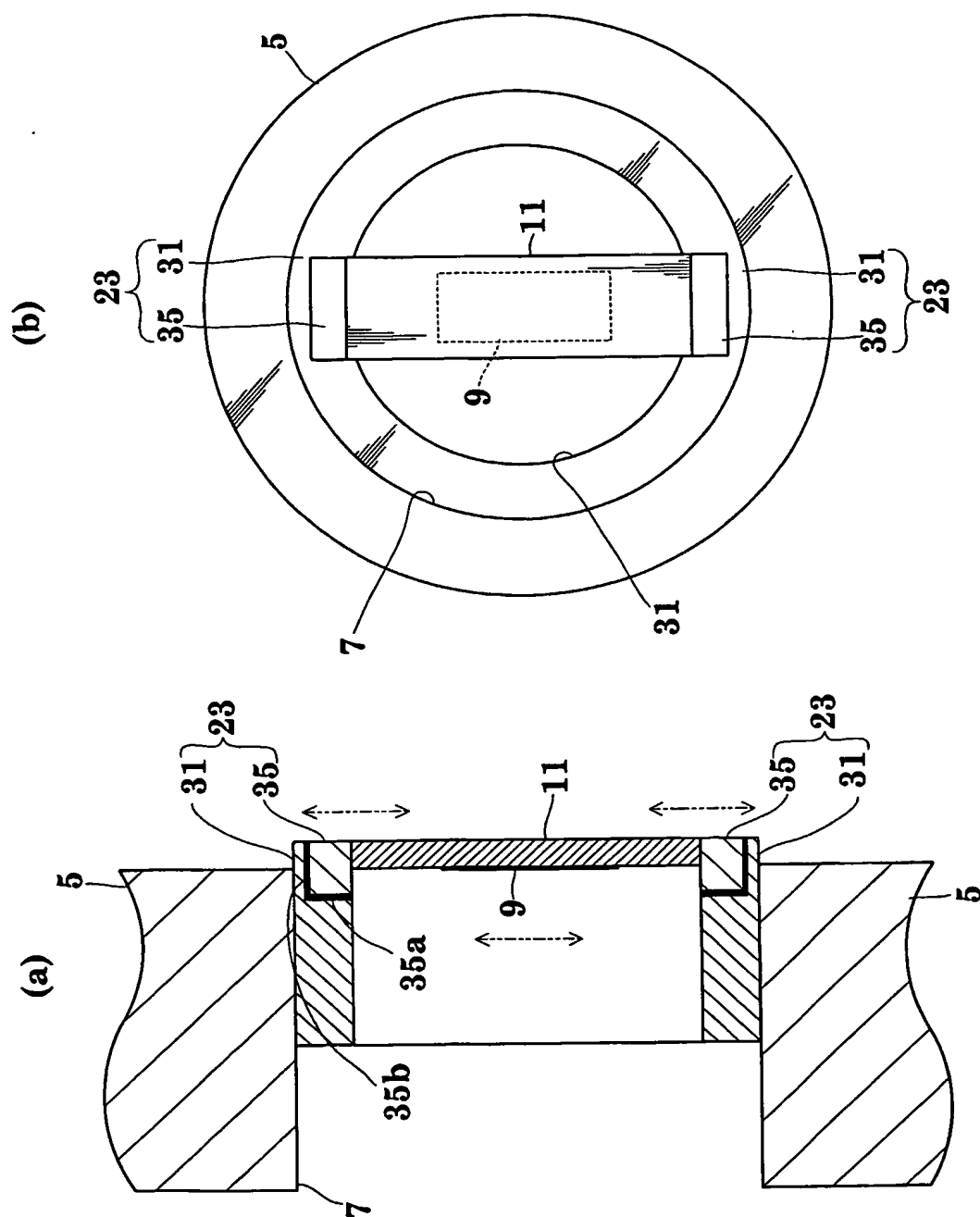


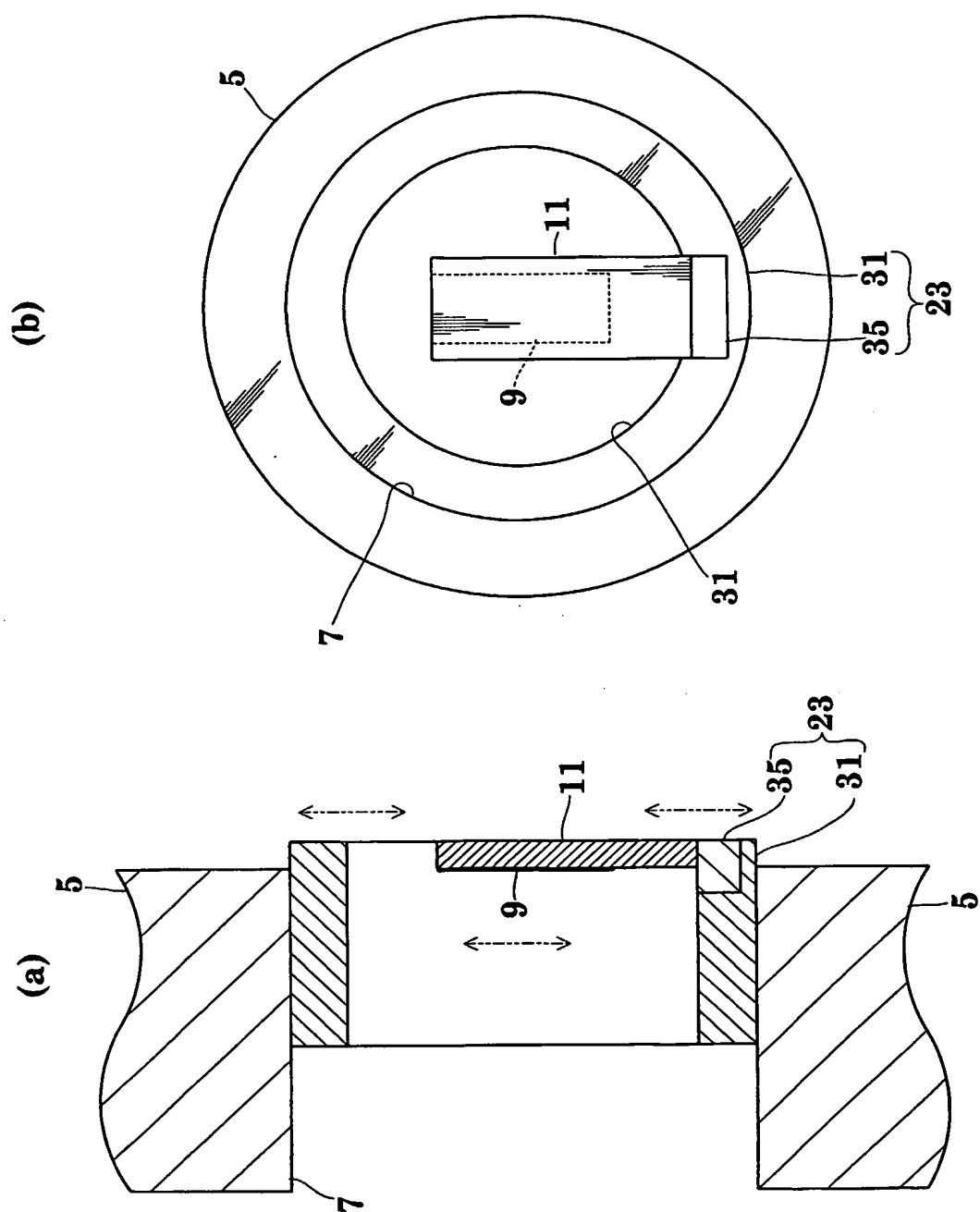


第10図

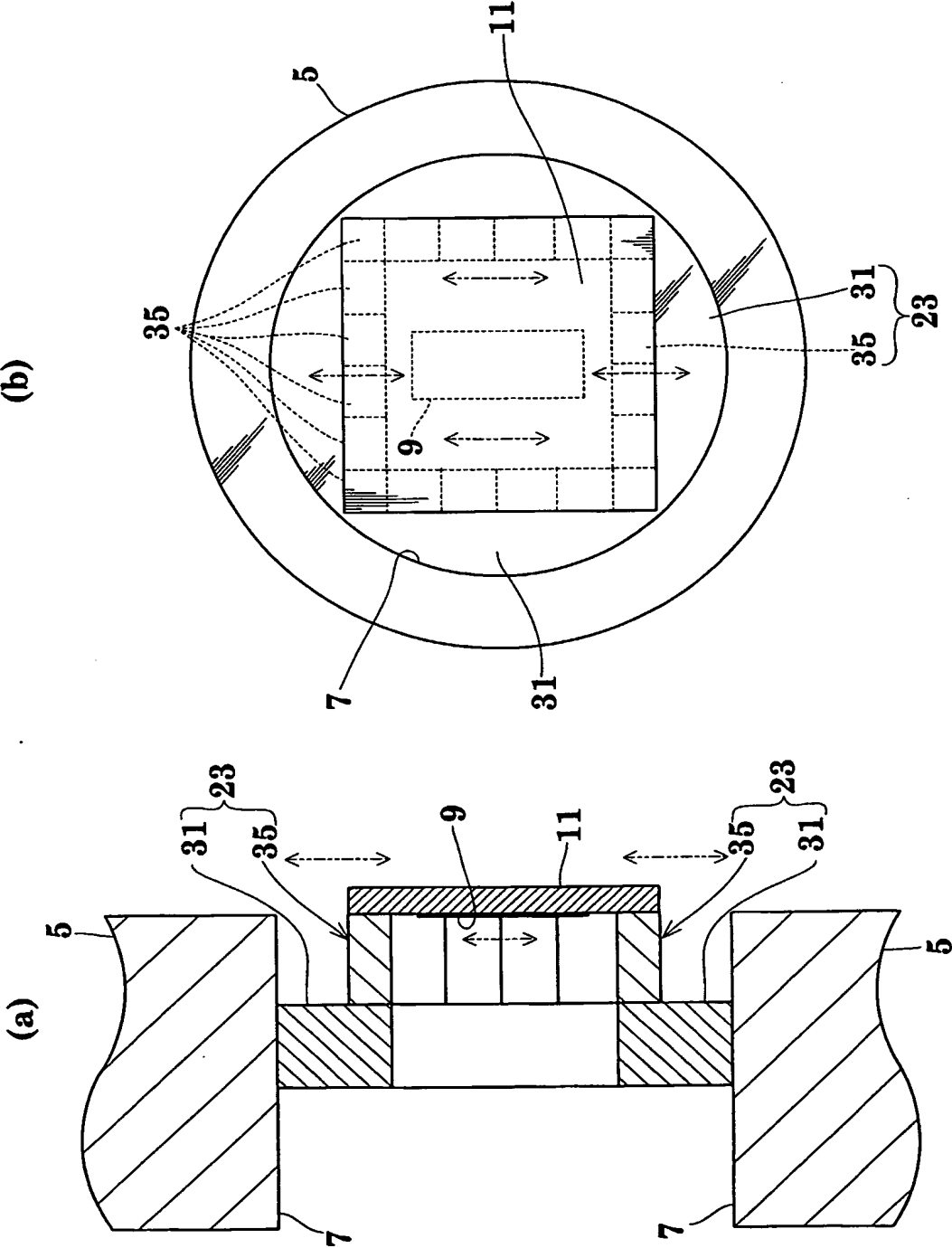
第11図



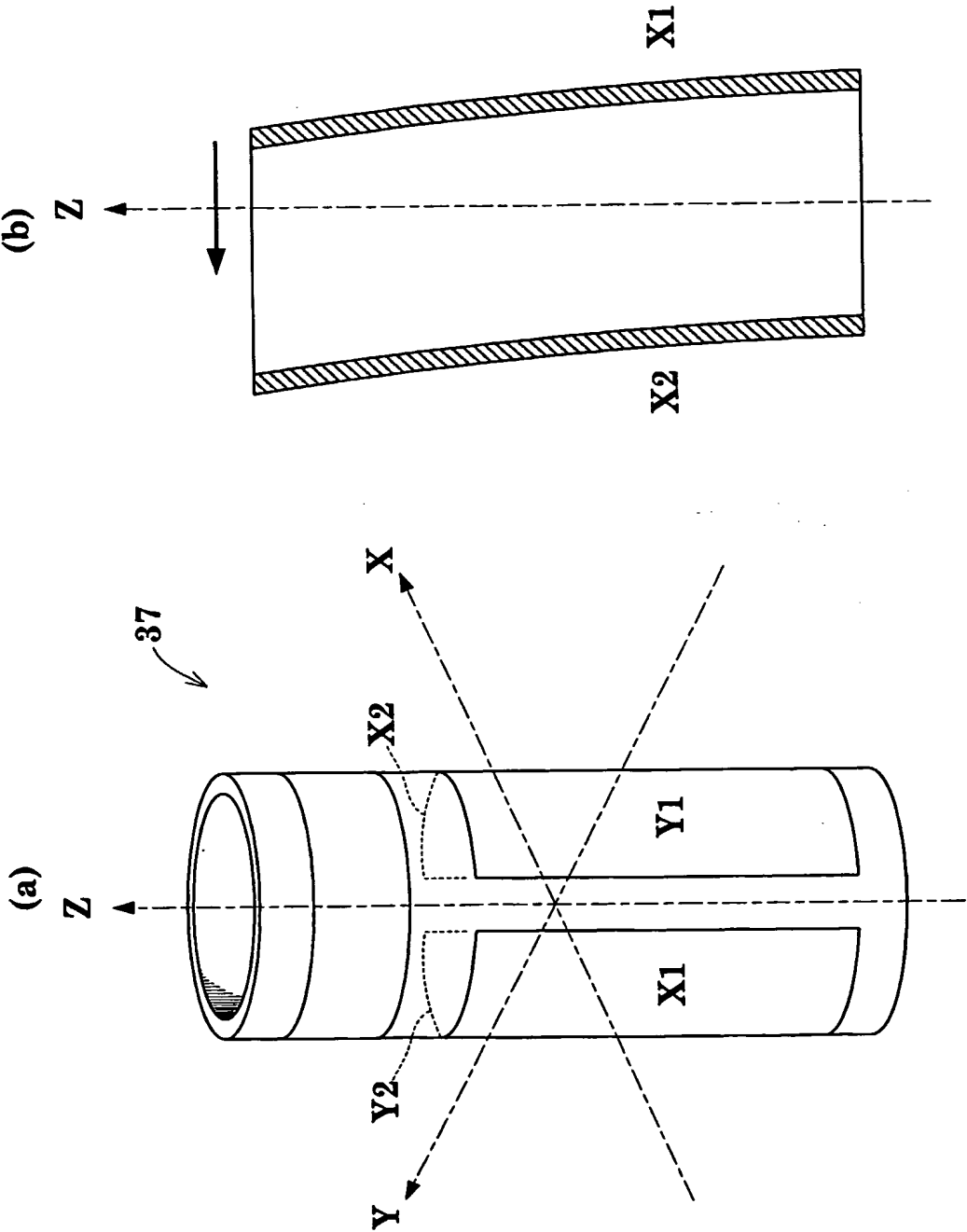


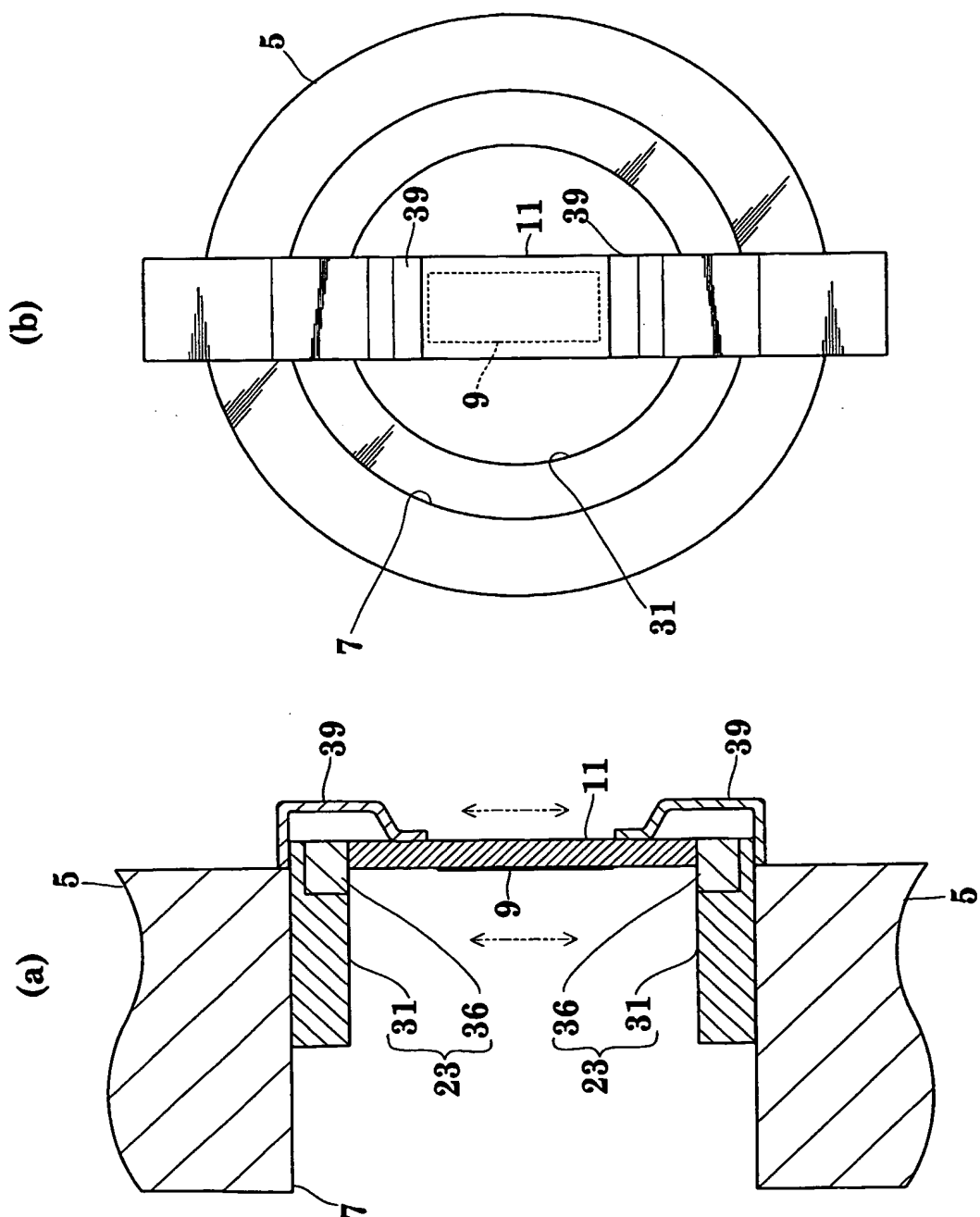


第14図

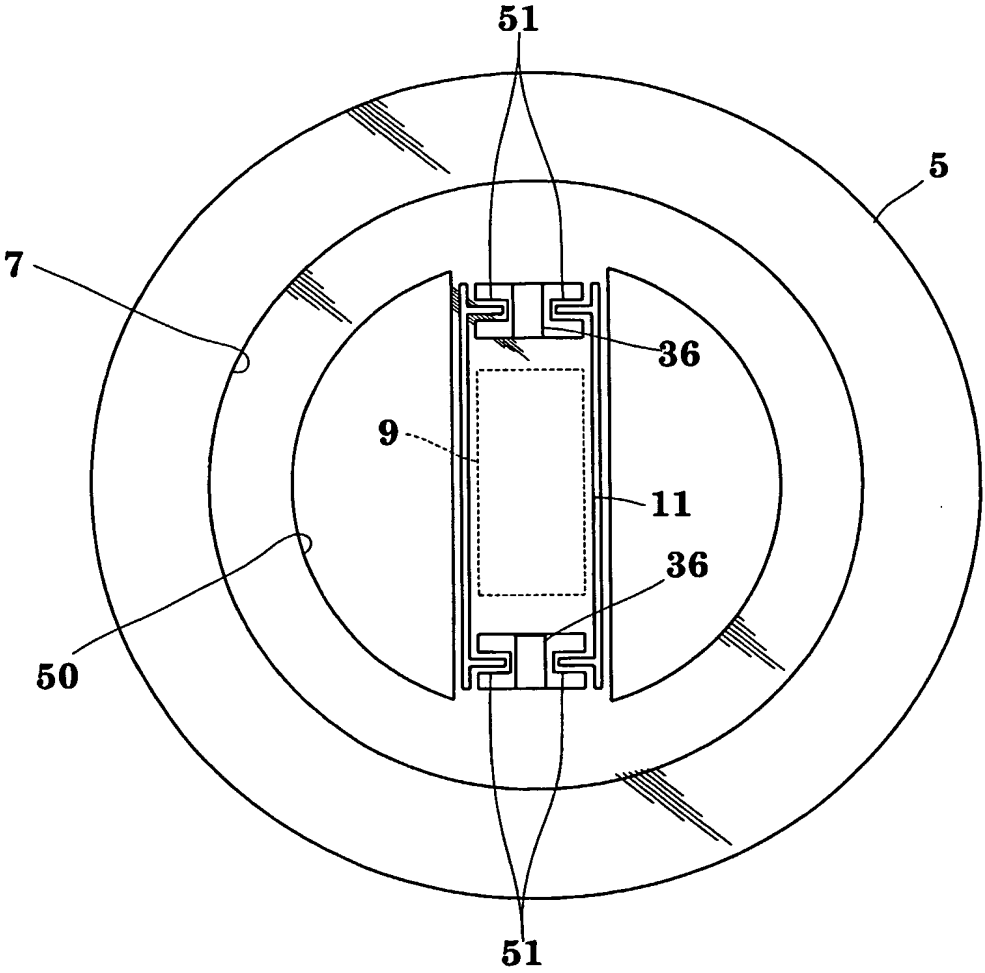


第15図

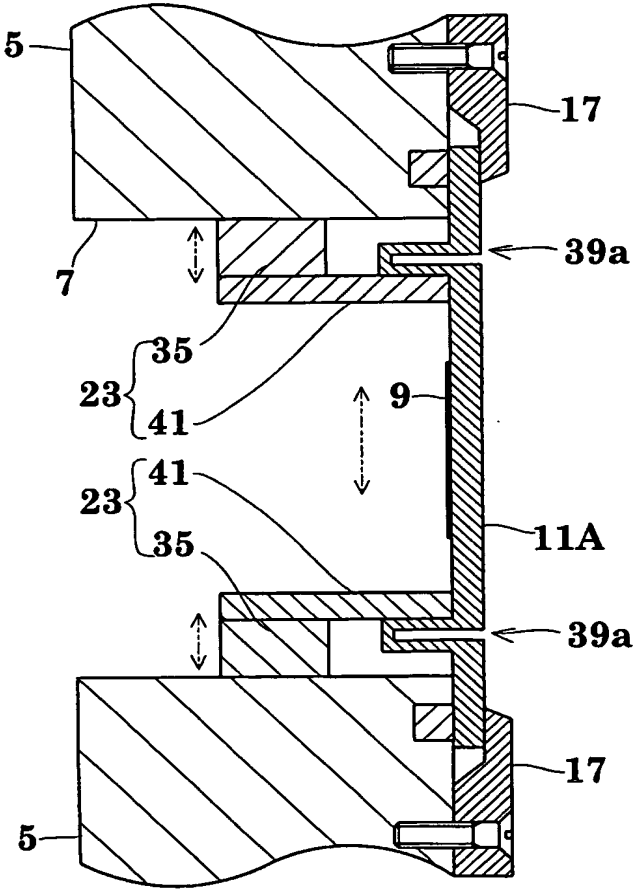




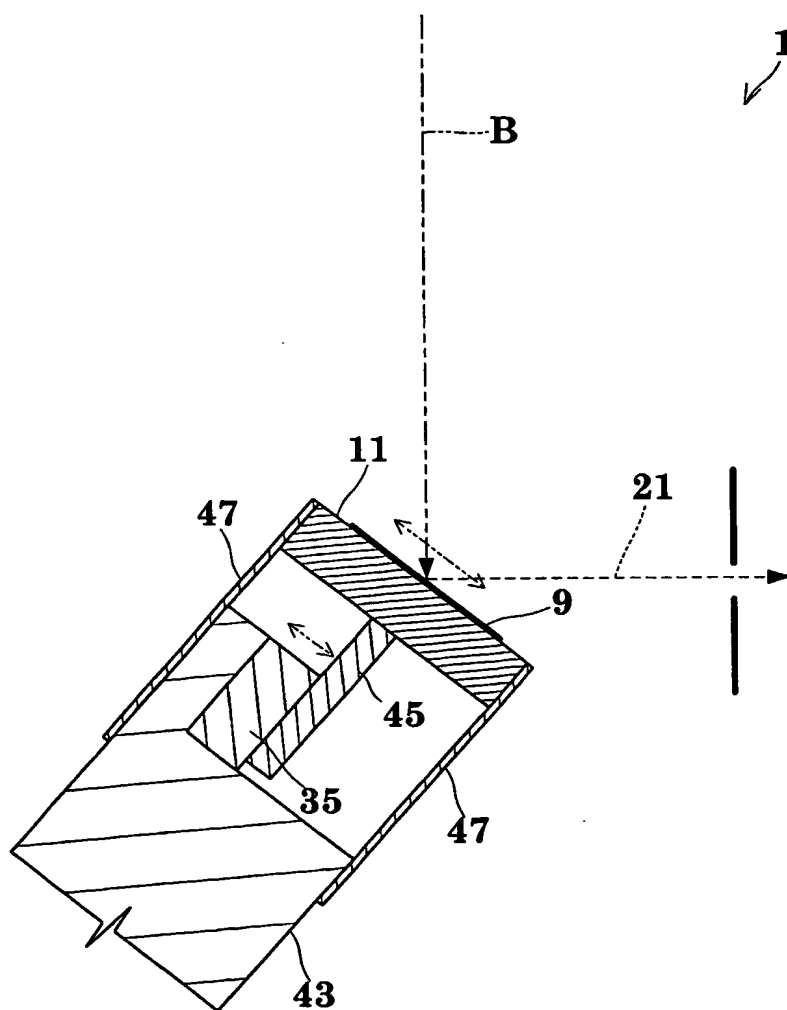
第 1 7 図



第 1 8 図



第 1 9 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/09122

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ H05G1/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ H05G1/00, H01J35/28		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 4-328229 A (Shimadzu Corp.), 17 November, 1992 (17.11.92), (Family: none)	1, 2, 12, 13 3-5, 15 6-11, 14
X Y A	JP 4-10342 A (Toshiba Corp.), 14 January, 1992 (14.01.92), (Family: none)	1, 2, 12, 16 3-5, 15 6-11, 14
X Y A	JP 52-110578 A (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.), 16 September, 1977 (16.09.77), (Family: none)	1, 2, 12 3-5, 15 6-11, 14
Y	JP 9-199291 A (Hitachi, Ltd.), 31 July, 1997 (31.07.97), Par. No. [0008] (Family: none)	3-5
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 09 October, 2003 (09.10.03)		Date of mailing of the international search report 28 October, 2003 (28.10.03)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/09122

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-188092 A (Hitachi, Ltd.), 08 July, 1994 (08.07.94), Par. No. [0024] (Family: none)	15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09122

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 1, 2, 12, and 16 are not novel since they are disclosed in Document JP 4-328229 A (Shimadzu Corp.) 17 November, 1992 (17.11.92), Document JP 4-10342 A (Toshiba Corp.) 14 January, 1992 (14.01.92), and Document JP 52-110578 A (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.) 16 September, 1977 (16.09.77). Accordingly, since Claims 12 and 16 for which a novelty is denied are classified into the first dependent series (Claims 1, 2) as a main invention, whereas Claims 3-5, Claims 6 and 7, Claims 8, 9, and 14, Claim 10, Claim 11, Claim 13, and Claim 15 sharing the interim special technical features are classified into the groups different from each other, Claims in this application are considered to have eight inventions. Therefore, Claims 1-16 do not fulfill unity of invention.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. ⁷ H 0 5 G 1 / 0 0

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. ⁷ H 0 5 G 1 / 0 0, H 0 1 J 3 5 / 2 8

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	J P 4-328229 A (株式会社島津製作所) 1992. 11. 17 (ファミリーなし)	1, 2, 12, 13 3-5, 15 6-11, 14
X Y A	J P 4-10342 A (株式会社東芝) 1992. 01. 14 (ファミリーなし)	1, 2, 12, 16 3-5, 15 6-11, 14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 10. 03

国際調査報告の発送日

28.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小田倉 直人

印

2W

9163

電話番号 03-3581-1101 内線 3290

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP 52-110578 A (東京芝浦電気株式会社) 1977. 09. 16 (ファミリーなし)	1, 2, 12 3-5, 15 6-11, 14
Y	JP 9-199291 A (株式会社日立製作所) 1997. 07. 31, 段落【0008】 (ファミリーなし)	3-5
Y	JP 6-188092 A (株式会社日立製作所) 1994. 07. 08, 段落【0024】 (ファミリーなし)	15

第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査することを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1, 2, 12, 16は、文献JP 4-328229 A (株式会社島津製作所) 1992.11.17、文献JP 4-10342 A (株式会社東芝) 1992.01.14、文献JP 52-110578 A (東京芝浦電気株式会社) 1977.09.16にそれぞれ開示されているから新規なものではない。その結果、主発明である最初の従属系列 (請求の範囲1, 2) に新規性の否定された請求の範囲12, 16を区分し、一方、当座の特別な技術的特徴を共通にする請求の範囲3-5と請求の範囲6, 7と請求の範囲8, 9, 14と請求の範囲10と請求の範囲11と請求の範囲13と請求の範囲15をそれぞれ別の区分とするから、本願の請求の範囲には8つの発明が記載されているものと認められる。よって、請求の範囲1-16は発明の単一性を満たしていない。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。